



DISEÑO Y MONTAJE DE UN SISTEMA DE PRUEBAS DIELECTRICAS EN GUANTES Y PÉRTIGAS HASTA 15 kV

CARLOS EDUARDO PINTO SALAMANCA

**UNIVERSIDAD PEDAGOGICA Y TECNOLOGICA DE COLOMBIA
FACULTAD SECCIONAL DUITAMA
INGENIERIA ELECTROMECHANICA
DUITAMA
2016**

**DISEÑO Y MONTAJE DE UN SISTEMA DE PRUEBAS DIELECTRICAS EN
GUANTES Y PÉRTIGAS HASTA 15 kV**

CARLOS EDUARDO PINTO SALAMANCA

Trabajo de grado para optar al título de Ingeniero Electromecánico

Proyecto presentado en la modalidad de monografía.

Director:

**Juan Carlos Castro Galeano
Docente Ingeniería Electromecánica**

**UNIVERSIDAD PEDAGOGICA Y TECNOLOGICA DE COLOMBIA
FACULTAD SECCIONAL DUITAMA
INGENIERIA ELECTROMECHANICA
DUITAMA
2016**

NOTA DE ACEPTACION:

Firma del director

Firma del jurado

Firma del jurado

Duitama 17 de Junio del 2016

DEDICATORIA

*A Dios por permitir terminar mis estudios de manera satisfactoria,
A mis padres Reinaldo Pinto y Carmiña Salamanca,
Y a mis hermanas María Luisa y Adriana.
Por su constante apoyo, esfuerzo y hacer esto posible.*

CARLOS EDUARDO PINTO SALAMANCA

AGRADECIMIENTOS

Agradezco a Dios por su infinita sabiduría y a todos los que hicieron de este proyecto una realidad, primordialmente a mis padres, hermanas y demás familiares que por medio de su esfuerzo y dedicación me han ayudado a salir adelante y cumplir mis sueños ante toda adversidad. A la Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia en especial a mi carrera Ingeniería Electromecánica en cabeza de todos los docentes y administrativos quienes permitieron por medio de su enseñanza brindarme el conocimiento y las herramientas para concluir mi trabajo de grado y toda la formación técnica e integral para el campo ingenieril, especialmente a los ingenieros Juan Carlos Castro Galeano director principal y María Luisa Pinto por su constante apoyo y atribución para con migo y el proyecto.

TABLA DE CONTENIDO

INTRODUCCION.....	14
1. TRABAJO CON TENSIÓN TCT O LINEA VIVA	18
1.1 CLASIFICACIÓN DE LAS TÉCNICAS DE TRABAJOS CON TENSIÓN	20
1.1.1 TÉCNICA A CONTACTO:	20
1.1.2 TÉCNICA A DISTANCIA:	22
1.1.3 TÉCNICA A POTENCIAL:	23
1.1.4 TÉCNICA ROBÓTICA:	24
2. REQUISITOS LEGALES PARA LA EJECUCIÓN DE PRUEBAS DE AISLAMIENTO A GUANTES Y PÉRTIGAS	25
2.1 NORMATIVIDAD VIGENTE PARA CERTIFICACIONES DIELECTRICAS	25
2.1.1 Normatividad nacional.....	25
2.1.2 Normatividad internacional para pruebas en guantes y pértigas.....	29
Normatividad para guantes	29
Normatividad para pértigas.....	30
2.2 DESCRIPCIÓN Y TIPOS DE PRUEBAS DIELECTRICAS	32
2.3 LABORATORIOS DE ENSAYOS.....	34
3. PRUEBAS DIELECTRICAS PARA GUANTES Y PÉRTIGAS	36
3.1 CLASIFICACIÓN DE LOS GUANTES DIELECTRICOS	36
3.1.1 Marcación y etiquetado	37
3.2 PRUEBA DE VOLTAJE SOSTENIDO EN GUANTES.....	38
3.2.1 Pruebas de corriente alterna AC.....	40
3.2.2 Pruebas de corriente directa DC.....	42
3.2.3 Requisitos eléctricos y aceptación.....	43
3.2.4 Secuencia de prueba	44
3.3 CLASIFICACIÓN DE LAS PÉRTIGAS DIELECTRICAS	44
3.3.1 Pértigas telescópicas	46
3.3.2 Pértigas rígidas	47
3.3.3 Pértigas tipo escopeta o de gancho retráctil	47
3.4 PRUEBA DE VOLTAJE SOSTENIDO EN PÉRTIGAS.....	48
3.4.1 Rechazo y muestreo	49
3.4.2 Secuencia de prueba y requisitos eléctricos	50

4. DISEÑO Y CONTRUCCIÓN DEL SISTEMA DE PRUEBAS DIELÉCTRICAS PARA GUANTES Y PÉRTIGAS.....	52
4.1 SISTEMA DISEÑADO PARA PRUEBAS DIELECTRICAS.....	52
4.2 DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE COMPONENTES	55
4.2.1 Tablero de control.....	56
4.2.2 Variador de tensión alterna (Variac)	57
4.2.3 Transformador elevador	59
4.2.4 Resistencias limitadoras por el lado de AT.....	62
4.2.5 Reactancia limitadora	64
4.2.6 Soporte para ensayos a guantes: cubeta de pruebas.....	66
4.2.7 Soporte para ensayos a pértigas: estructura de soporte.....	69
4.2.8 Aisladores	72
4.2.9 Elementos de protección para el operador del sistema de pruebas	73
5. PRUEBAS PILOTO	74
5.1 APLICACIÓN DE LAS SECUENCIAS DE PRUEBA.....	74
5.1.1 Aplicación del sistema de pruebas en guantes	75
5.1.2 Aplicación del sistema de pruebas en pértigas.....	80
5.2 SISTEMA DE GESTIÓN DE RESULTADOS	82
5.3 PLAN DE MANTENIMIENTO	83
6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	85
6.1 CONCLUSIONES	85
6.2 RECOMENDACIONES.....	87
7. BIBLIOGRAFÍA	89
ANEXOS	93

INDICE DE FIGURAS

Figura 1. Trabajo en línea viva por técnica a contacto	21
Figura 2. Trabajo en línea viva técnica a distancia.....	22
Figura 3. Trabajo en línea viva técnica a potencial.	23
Figura 4. Trabajo en línea viva técnica robótica.	24
Figura 5. Guantes dieléctricos.....	30
Figura 6. Pértigas.....	31
Figura 7. Ejemplo de etiquetado de guantes.....	37
Figura 8. Diferencias en etiquetado de guantes dieléctricos.	38
Figura 9. Espacio libre de agua (d)	39
Figura 10. Pértiga telescópica de 7 secciones.	45
Figura 11. Pértiga telescópica	46
Figura 12. Pértiga rígida.....	47
Figura 13. Pértiga tipo escopeta.....	47
Figura 14. Soporte y anclaje de pértigas y terminales conductoras.	49
Figura 15. Resorte helicoidal para pruebas de rigidez dieléctrica	50
Figura 16. Helical Spring Electrode for In-Service Electrical Testing.....	50
Figura 17. Foto general del sistema.....	53
Figura 18. Cubeta de pruebas.....	53
Figura 19. Soporte para pértigas.....	54
Figura 20. Señalización de área de trabajo e implementos a usar.....	54
Figura 21. Esquema de pruebas. Guantes.....	55
Figura 22. Esquema de pruebas. Pértigas.....	55
Figura 23. Características gabinete de control	56
Figura 24. Tablero de control construido.....	57
Figura 25. Puntos de medición en BT	57
Figura 26. Características técnicas variac.....	58
Figura 27. Variac de 0 a 140 Voltios. 10 A.....	58
Figura 28. Comportamiento variac en vacío.....	59
Figura 29. Características del transformador elevador por lámpara de Neón	60
Figura 30. Transformador para lámpara de neón.....	60
Figura 31. Circuito prueba de transformador.....	61
Figura 32. Características de las resistencias.....	63
Figura 33. Resistencias limitadoras.....	63
Figura 34. Construcción bobina.....	65
Figura 35. Características de la bobina.....	66

Figura 36. Reactancia limitadora o Bobina.....	66
Figura 37. Características de cubeta de pruebas.....	67
Figura 38. Cubeta de pruebas o ensayos.	67
Figura 39. Características de la tapa.....	67
Figura 40. Tapa de la cubeta de pruebas.....	68
Figura 41. Características mesa dieléctrica.....	69
Figura 42. Mesa dieléctrica	69
Figura 43. Construcción y aislamiento de soportes.....	71
Figura 44. Anclaje de tubos y conexión de resortes.....	71
Figura 45. Aisladores poliméricos	72
Figura 46. Tapete	73
Figura 47. Avisos informativos	73
Figura 48. Prueba a guante de cocina.	76
Figura 49. Prueba a guante de nitrilo.	77
Figura 50. Prueba a guantes dieléctricos clase 00.....	79
Figura 51. Prueba de anclaje mecánico con pértiga.	81
Figura 52. Prueba a tubo de PVC	81

INDICE DE TABLAS

Tabla 1. Laboratorios nacionales para pruebas dieléctricas.....	35
Tabla 2. Requerimientos de voltaje en AC.	36
Tabla 3. Requerimientos de voltaje en DC.	36
Tabla 4. Color etiqueta del guante.	37
Tabla 5. Espacios libres – línea de agua. (d)	39
Tabla 6. Tamaños de Pértigas telescópicas.....	46
Tabla 7. Dimensiones comerciales de pértigas tipo escopeta.....	48
Tabla 8. Comportamiento variac en vacío	58
Tabla 9. Transformador en vacío	61
Tabla 10. Propiedades mecánicas del vidrio	66
Tabla 11. Propiedades mecánicas del PVC	70
Tabla 12. Propiedades eléctricas del PVC	70
Tabla 13. Características aisladores.	72
Tabla 14. Prueba a guantes de cocina.....	76
Tabla 15. Prueba a guantes de nitrilo.....	78
Tabla 16. Prueba de guante clase 00.....	79
Tabla 17. Prueba de tensión aplicada a tubo de PVC	81
Tabla 18. Datos a diligenciar en el ensayo de guantes	83
Tabla 19. Datos a diligenciar en el ensayo de pértigas	83

INDICE DE ANEXOS

ANEXO A: PLANO GENERAL DE TABLERO DE CONTROL.

ANEXO B: ANÁLISIS MATEMÁTICO.

ANEXO C: MANUAL DE PROCEDIMIENTO PRUEBA DE VOLTAJE SOSTENIDO A GUANTES Y PÉRTIGAS DIELECTRICAS

ANEXO D: PROGRAMA PARA SISTEMA DE GESTIÓN DE RESULTADOS.

ANEXO E: PLAN DE MANTENIMIENTO DEL EQUIPAMIENTO.

ANEXO F: LISTA DE PRECIOS DE OBJETOS ADQUIRIDOS PARA PROYECTO DE INVESTIGACIÓN.

RESUMEN

El constante crecimiento del sistema eléctrico en el departamento de Boyacá, propicia la creación de un espacio para desarrollar pruebas dieléctricas a elementos de seguridad personal y equipos eléctricos para trabajos con tensión, debido a que en la región no se cuenta con laboratorios de certificación que realicen estas tareas. Actualmente, el Grupo de Investigación y Desarrollo en Sistemas Electromecánicos GridsE de la Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia y la Empresa de Energía de Boyacá EBSA E.S.P, se encuentran tramitando un convenio para la creación de un Laboratorio de pruebas dieléctricas a los elementos de trabajo con tensión TCT.

Este documento presenta las etapas llevadas a cabo en el diseño, montaje y puesta en marcha de un sistema de pruebas de voltaje sostenido en AC a guantes y pértigas, con las cuales se puede determinar si cumplen con las especificaciones técnicas para continuar en servicio, retirando los elementos defectuosos y de esta forma evitar posibles accidentes fatales de los trabajadores de línea viva.

El nivel de tensión alcanzado en este proyecto fue de 15 kV, considerando la posibilidad de aumentarse hasta 200 kV, una vez se adquiera un transformador elevador de mejores características para la ejecución de las pruebas a los voltajes de norma.

Los principales elementos que componen el montaje de prueba, corresponden a un circuito elevador de tensión, el cual incluye: un transformador elevador monofásico de 120 V a 15000 V, un tablero de control y protección, un variac monofásico, resistencias limitadoras en alta y baja tensión y una reactancia limitadora de corriente para la protección del transformador elevador en caso de falla del aislamiento del objeto bajo prueba. Los guantes se ubicaron en una cubeta de vidrio llena de agua y las pértigas se sostuvieron de tres soportes dieléctricos debidamente retiradas del suelo, empleando electrodos conectados cada 30 centímetros de forma intercalada. Todos los elementos del montaje fueron adquiridos o contruidos según los requerimientos de los estándares nacionales e internacionales.

Seguidamente, se presentan los resultados de pruebas piloto a tensión reducida desarrolladas sobre un par de guantes dieléctricos clase 00, un par de guantes empleados en tareas de aseo, un par de guantes de nitrilo empleados para el manejo de desechos tóxicos y sobre una sección de pértiga.

Posteriormente, se elaboraron los manuales de procedimiento, formatos de toma de datos e instructivos de uso y mantenimiento para la ejecución de las pruebas con miras a la futura acreditación de ensayos.

Finalmente, se diseñó un sistema de gestión de resultados para el manejo de los mismos y poderlos comparar con pruebas de años anteriores, de acuerdo con el operario, zona, tiempo de servicio, entre otros, agilizando la elaboración del protocolo de prueba y determinando la vida útil de los elementos de protección personal.

INTRODUCCION

En un Sistema Eléctrico de Potencia (SEP), es indispensable la realización de tareas de mantenimiento, ampliación y repotenciación de líneas de transmisión y distribución. Estas tareas se pueden realizar en redes desenergizadas (sacando de servicio los circuitos) o con tensión también denominadas en “línea viva” o Trabajos Con Tensión TCT, estas últimas con el propósito de no sacar de servicio las líneas y no afectar la continuidad, eficiencia y confiabilidad de sistema, técnicas que son cada día más empleadas.

Las operaciones en redes energizadas, implican la atención a altos estándares de seguridad para la protección de la vida de los operarios, ya que los riesgos a los que se somete un operador de línea viva son considerables, debido a que están expuestos a descargas de alta tensión y elevados niveles de corriente, que pueden generar daños tan graves como lesiones, quemaduras, caídas de altura o incluso la muerte.

En Colombia, el Ministerio de la Protección Social define mediante la Resolución 1348 de 2009, el reglamento de salud ocupacional para procesos de generación, transmisión y distribución de energía eléctrica en las empresas del sector eléctrico, estableciendo que los procedimientos, equipos y materiales utilizados en el método de trabajo empleado deben asegurar la protección del trabajador frente al riesgo eléctrico, garantizando, en particular, que el trabajador no entre en contacto accidental con cualquier otro elemento o potencial distinto al suyo. Adicionalmente los equipos y materiales usados para la realización de trabajos en tensión se elegirán teniendo en cuenta las características del trabajo, la tensión de servicio y se utilizarán, mantendrán y revisarán siguiendo las indicaciones de su fabricante, la norma nacional o internacional vigente que les aplique y las que defina la empresa para garantizar la protección del trabajador y su correcta operación y calidad.

Los operarios que realizan el trabajo en línea viva, necesitan un equipo especial de protección personal que incluye guantes, mangas, casco y para protección colectiva requieren de mantas, cubridores y el carro canasta. Estos elementos, deben fabricarse con materiales sintéticos de alta resistencia al efecto corona, en colores establecidos según la normatividad y deben seguir un riguroso procedimiento de certificación y revisiones periódicas para evitar porosidades que puedan afectar el aislamiento, lo cual requiere del desarrollo de procesos de certificación posteriores a la fabricación de los elementos de protección y por ende establece una demanda de laboratorios de certificación que realicen las pruebas

de aislamiento y verificación de cumplimiento de estándares que establecen la calidad de los mismos para su operación en redes energizadas.

Los laboratorios que realicen ensayos dieléctricos deben estar acreditados por el ONAC bajo el estándar NTC ISO-17025 indicando que para realizar pruebas de forma acreditada se deben certificar los laboratorios, el laboratorista y la prueba a realizar. En Colombia, algunas empresas prestadoras del servicio de energía eléctrica, cuentan con laboratorios para realizar pruebas dieléctricas tanto a equipos de protección personal como a prendas usadas en el trabajo, sin embargo, en el departamento de Boyacá, no existe ningún laboratorio especializado de estas características. De esta manera se puede determinar que hay un aumento de potencia para suplir la necesidad de los usuarios que crecen de manera periódica en el Departamento y por ende un mayor trabajo en las líneas de transmisión y redes de distribución que requieren un acompañamiento para su mantenimiento y ampliación en donde empresas como la EBSA E.S.P., debe tener sus elementos de protección personal en óptimas condiciones para lo cual acude a solicitud del servicio de pruebas y certificación en regiones externas a Boyacá, incurriendo en gastos elevados y exponiéndose a riesgos por imprevistos o accidentes en el traslado de estos elementos.

Mediante el desarrollo de este proyecto, se considera la problemática de no contar con laboratorios regionales acreditados para pruebas de desempeño y aislamiento de elementos o equipos empleados en maniobras de línea viva y se presenta un punto de avance para solucionarla, a partir del diseño y construcción de un sistema de pruebas dieléctricas para guantes y pértigas (ASTM D 120, ASTM F496, ASTM F711, IEC 855, ISO 60903, IEEE 978 de 1984 entre otras) que garanticen operaciones seguras bajo la normatividad establecida. Los resultados presentados en este documento, aportan un primer avance para la creación de un laboratorio de certificación dieléctrica en la UPTC Facultad Seccional Duitama, para la extensión, docencia e Investigación, fortaleciendo el programa de Ingeniería Electromecánica. En esta etapa se entregan los montajes para la realización de pruebas a guantes y pértigas, con un voltaje hasta 15 kV. Como proyectos futuros, se plantea la adquisición de un transformador de 200 kV para realizar las pruebas a los voltajes de norma y la implementación de pruebas en otros elementos como mangas, cascos, mantas, cubridores, carro canasta etc.

La adquisición de materiales y equipos necesarios para el sistema de prueba fue financiada por los recursos asignados al proyecto de investigación “EVALUACIÓN DEL ESTADO DE GUANTES Y PÉRTIGAS DIELECTRICAS EMPLEADOS PARA

TRABAJOS EN REDES ENERGIZADAS DE LA EMPRESA DE ENERGÍA DE BOYACÁ” SGI 1744, a través de la participación en la convocatoria de la Dirección de Investigaciones DIN capital semilla 2015; así como los equipos de medición y generación de voltaje disponibles en el grupo GridsE y en el Laboratorio de Electricidad de la UPTC Facultad Seccional Duitama.

GLOSARIO “terminología según RETIE”

Línea viva: Término aplicado a una línea con tensión o línea energizada

Lesión: Perjuicio fisiológico sufrido por una persona.

CREG: Comisión de Regulación de Energía y Gas

OR: Operador de Red

ACCIDENTE: Evento no deseado, incluidos los descuidos y las fallas de equipos, que da por resultado la muerte, una lesión personal, un daño a la propiedad o deterioro ambiental.

CONFIABILIDAD:

AISLAMIENTO ELÉCTRICO BÁSICO: Aislamiento aplicado a las partes vivas para prevenir contacto eléctrico.

AISLAMIENTO FUNCIONAL: Es el necesario para el funcionamiento normal de un aparato y la protección contra contactos directos.

ACREDITACIÓN: Procedimiento mediante el cual se reconoce la competencia técnica y la idoneidad de organismos de certificación e inspección, así como laboratorios de ensayo y de metrología.

AISLADOR: Elemento de mínima conductividad eléctrica, diseñado de tal forma que permita dar soporte rígido o flexible a conductores o a equipos eléctricos y aislarlos eléctricamente de otros conductores o de tierra.

ONAC: Organismos Nacional de Acreditación de Colombia

EBSA E.S.P.: Empresa de energía de Boyacá

AMENAZA: Peligro latente de que un evento físico de origen natural, o causado, o inducido por la acción humana de manera accidental, se presente con una severidad suficiente para causar pérdida de vidas, lesiones u otros impactos en la salud, así como también daños y pérdidas en los bienes, la infraestructura, los medios de sustento, la prestación de servicios y los recursos ambientales.

ARCO ELÉCTRICO: Haz luminoso producido por el flujo de corriente eléctrica a través de un medio aislante, que produce radiación y gases calientes.

CERTIFICADO DE CONFORMIDAD: Documento emitido conforme a las reglas de un sistema de certificación, en el cual se puede confiar razonablemente que un producto, proceso o servicio es conforme con un reglamento técnico, una norma, especificación técnica u otro documento normativo específico.

CONTROL DE CALIDAD: Proceso de regulación, a través del cual se mide y controla la calidad real de un producto o servicio.

CORTOCIRCUITO: Unión de muy baja resistencia entre dos o más puntos de diferente potencial del mismo circuito.

DISTANCIA DE SEGURIDAD: Distancia mínima alrededor de un equipo eléctrico o de conductores energizados, necesaria para garantizar que no habrá accidente por acercamiento de personas, animales, estructuras, edificaciones o de otros equipos.

DISTRIBUCIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA: Transferencia de energía eléctrica a los consumidores, dentro de un área específica.

ELECTROCUCIÓN: Paso de corriente eléctrica a través del cuerpo humano, cuya consecuencia es la muerte.

1. TRABAJO CON TENSIÓN TCT O LINEA VIVA

En este capítulo, se presenta la importancia y los beneficios de la realización de trabajos en línea viva, la normatividad y legislación vigente de las obligaciones que tienen las empresas del sector eléctrico con los usuarios para la prestación de un servicio eléctrico continuo. Finalmente aparecen las diferentes técnicas de trabajo con tensión, así como su aplicación de acuerdo con los diferentes niveles de tensión y tipo de maniobra.

Existen distintas forma de denominar a los trabajos en redes energizadas, las más usadas son TCT “Trabajos Con Tensión” o Línea Viva¹. En el marco legislativo en trabajos de redes energizadas se determina como operar las líneas de tensión de forma independiente en cada país y se reglamenta mediante sus Ministerios de Educación o de Minas y Energía u organismos equivalentes a la Comisión de Regulación de Energía y Gas CREG. Para Colombia se toma el Reglamento Técnico de Instalaciones Eléctricas (RETIE) y la Resolución 1348 del 2009². Para Argentina, se establecen regulaciones por medio de la AEA y la reglamentación de la Superintendencia de Riesgo del Trabajo 592/04³. En Uruguay la instrucción general para realización en media tensión la da el Decreto 179/2001⁴. En Perú no hay reglamentación para trabajos con tensión, por lo que también se adopta el RETIE y se tratan con el Código Nacional de suministro del 2001 y Reglamento de Seguridad y Salud en el Trabajo de las Actividades Eléctricas “RESESATAE”. En general cada país trabaja independientemente y lo hace aceptando los riesgos que esto conlleva, es decir que los países tienen decretos y reglamentos pero no hay leyes sancionatorias que establezcan uniformidad ya sea por los niveles de tensión, técnicas de trabajo, modalidad, escenarios ni demás complejidades que puedan ocurrir.

¹ Ponencia. I Jornada Internacional y III Nacional de Ingeniería Electromecánica, Universidad Pedagógica y tecnológica de Colombia, Sede Duitama, Noviembre 4, 5 y 6 del 2015. Guarín Aguirre Oscar. Disponible en memorias del evento.

² MINISTERIO DE LA PROTECCIÓN Social. Gobierno de Colombia. Resolución 001348 De 2009. Disponible en: <http://www.alcaldiabogota.gov.co/sisjur/normas/Norma1.jsp?i=36213> Consultado el 13 de Agosto del 2015

³ Superintendencia de riesgos del trabajo 592/04 en Argentina. Disponible en <http://www.estrucplan.com.ar/Legislacion/Nacion/Resoluciones/Superintendencia> Consultado el 18 de Noviembre del 2015

⁴ Reglamentación en Uruguay URSEA por medio del ministerio del interior. Disponible en http://ewh.ieee.org/sb/uruguay/udelar/uruguayenergetico/Vignolo-Marco_Regulatorio_Uruguay_20090820.pdf Consultado el 20 de Noviembre del 2015.

Los trabajos en prestación de servicios de energía eléctrica en Colombia, deben realizarse bajo las indicaciones de la CREG, donde establece al OR como responsable de la operación, mantenimiento y expansión del sistema de distribución local de energía eléctrica, definiendo sanciones y multas a las empresas del sector eléctrico que dejen sin servicio a los usuarios que dependen del mismo⁵. Adicionalmente se consideran algunos parámetros internos de la empresa como del índice de frecuencia de interrupción promedio bajo el sistema SAIFI (System Average Interruption Frequency Index) y índice de duración media del sistema de Interrupción bajo el sistema SAIDI (System Average Interruption Duration Index), que conllevan a la utilización ideal del personal de trabajo, determinando unos aspectos muy importantes llamados FUMO “Factor de Utilidad de Mano de Obra” y PC “Productividad de Campo”, con el fin de disminuir la interrupción del sistema y aumentar la productividad del personal. Según las maniobras de servicio, el operador de red define las técnicas de trabajo con o sin tensión.

La técnica de trabajo con tensión TCT o de línea viva: consiste en la ejecución de trabajos de mantenimiento en redes energizadas con niveles de tensión hasta 800 kV (500 kV máximos para Colombia actualmente), sin suspender el suministro de Energía. Según el reglamento técnico de instalaciones eléctricas RETIE, línea viva se define como un término aplicado a una línea con tensión o una línea energizada para arreglar fallas, ampliar la red o cambiar postes, entre otros.

El TCT posee una regla fundamental según el ingeniero Oscar Guarín “nunca tocar nada que se encuentre a una diferencia de tensión a la que la persona manipule”, lo que implica un trabajo uní-potencial. Las premisas básicas para no trabajar con tensión son: personal en estado de embriagues, personal con trastornos de salud, tener en cuenta condiciones atmosféricas, temperatura, alturas sobre el nivel del mar, etc. Para la técnica TCT el personal obligatoriamente tiene que ser instruido, entrenado, autorizado, habilitado y certificado.

Como características principales de la técnica de TCT se puede indicar que es muy costosa; requiere un personal altamente calificado y formación especializada; requiere equipos y herramientas especiales; exige conocimiento integral del sistema; e involucra todas las áreas administrativas y operativas de una entidad

⁵ COMISIÓN DE REGULACIÓN DE ENERGÍA Y GAS CREG. Resolución CREG-070 de 1998, CREG 179 de 2014 y CREG 024 de 2016 se dictan otras disposiciones sobre reporte de información referente a las Subastas para la Asignación de Obligaciones de Energía Firme del Cargo por Confianza. Disponible en <http://www.creg.gov.co/cxc/secciones/documentos/resoluciones.htm>.

con compromiso permanente frente a la seguridad. Sin embargo, los beneficios de trabajos con tensión son:

- El usuario de la energía eléctrica puede tener un alto nivel de confianza debido al poco corte de corriente que requiere.
- Los TCT permiten la ampliación y crecimiento de trabajos de construcción sin desenergizar ni afectar a otras personas.
- Genera valor agregado a los usuarios (mayor rendimiento económico).
- Brinda satisfacción a clientes de todos los niveles y estratos.
- Los trabajadores de línea viva, tienden a mejorar sus hábitos con el fin de desarrollar una mejor destreza para la operación de su trabajo.
- Permite un crecimiento empresarial debido al impacto de regulación y los sectores anexos como ensayos e interventorías del sector eléctrico.

Los elementos claves para el personal de TCT:

- La necesidad de mantener los más altos estándares de seguridad.
- La imposibilidad de incluir personal novato para formación en campo
- La obligación de cumplir con reglamentaciones de orden nacional e internacional que imponen numerosos requisitos tanto en la capacitación y reentrenamientos, como en aspectos técnicos.
- Se requiere certificación de competencias de todo el personal de TCT.

De otra parte la técnica de trabajo sin tensión - TST o de línea muerta: comprende 5 reglas fundamentales para trabajar con los máximos estándares de seguridad, el personal puede ser calificado simplemente con un asesoramiento adecuado:

- Desconectar, corte visible y efectivo.
- Enclavamiento, bloqueo y señalización
- Comprobación de ausencia de tensión.
- Puesta a tierra y corto circuito.
- Señalización de la zona de trabajo.

1.1 CLASIFICACIÓN DE LAS TÉCNICAS DE TRABAJOS CON TENSIÓN

1.1.1 TÉCNICA A CONTACTO:

Permite al trabajador realizar sus actividades de mantenimiento, conexión, instalación eléctrica directamente con sus manos. Esta técnica permite combinarse con distancia, pero no con potencial. Se puede desarrollar solamente

hasta 34.5 kV (fase-fase), porque no hay equipos de protección personal aislados que permitan que la diferencia de potencial sea igual a la del trabajador, teniendo en cuenta que un valor más alto permitiría el paso de corriente al cuerpo humano ocasionando lesiones o hasta electrocución.

La técnica a contacto, exige que el personal tenga alta concentración, habilidad manual y planeación permanente para garantizar la seguridad. Requiere equipos aislados clasificados como de clase 00, 0, 1, 2, 3 y 4 para intervenir el sistema de distribución de energía solamente hasta 34,5 kV. Se pueden realizar los trabajos en canastas aisladas, plataformas aisladas, escaleras aisladas y andamios aislados (ver figura 1). Las canastas aisladas deben estar probadas dieléctricamente bajo la norma ANSI ASTM 92.2 del 2009⁶. La escalera aislada debe estar probada bajo la norma ASTM F 711. La plataforma aislada en un elemento que tiene problemas de espacio, por lo general la utiliza el personal altamente calificado debido a la habilidad, agilidad, destreza debido al alto índice de peligrosidad que maneja.

Figura 1. Trabajo en línea viva por técnica a contacto



Fuente: EBSA Duitama Boyacá. Noviembre 6 del 2015

⁶ ASTM 92.2 CARROCANASTA, Voltaje sostenido disponible en <http://hseservicesltda.com/web/index.php/inspecciones/equipo-de-izaje-de-cargas>. Consultado el 28 de abril de 2016

1.1.2 TÉCNICA A DISTANCIA:

Permite trabajar o realizar las actividades de mantenimiento con elementos que extienden la capacidad motriz, exigen alta habilidad manual y requiere de destreza, fuerza y condición ergonómica (ver figura 2). No requiere mayor número de equipos y elementos aislados de protección personal para intervenir el sistema de distribución de energía, solamente equipos de seguridad para riesgos específicos puntuales. No se está expuesto de forma directa al arco que se produce por la diferencia de potencial de la línea y el aire, pero obliga a utilizar otros elementos colectivos aislados para no incurrir en accidentes personales ni grupales. Se pueden realizar los trabajos con bastones, varas, pértigas, plumas aisladas hasta 800 kV, que deben cumplir con una normatividad, de fabricación, chequeo, prueba y para el uso. Estos trabajos requieren de un alto grado de concentración y astucia por parte del personal pero no demanda de un gran número de trabajadores para finalizar las tareas. La finalidad de los TCT con esta técnica es usar herramientas para la realización de las tareas desde una distancia moderada o usarse como apoyo para extensión de anclaje o suspensión de las líneas de tensión.

Figura 2. Trabajo en línea viva técnica a distancia.

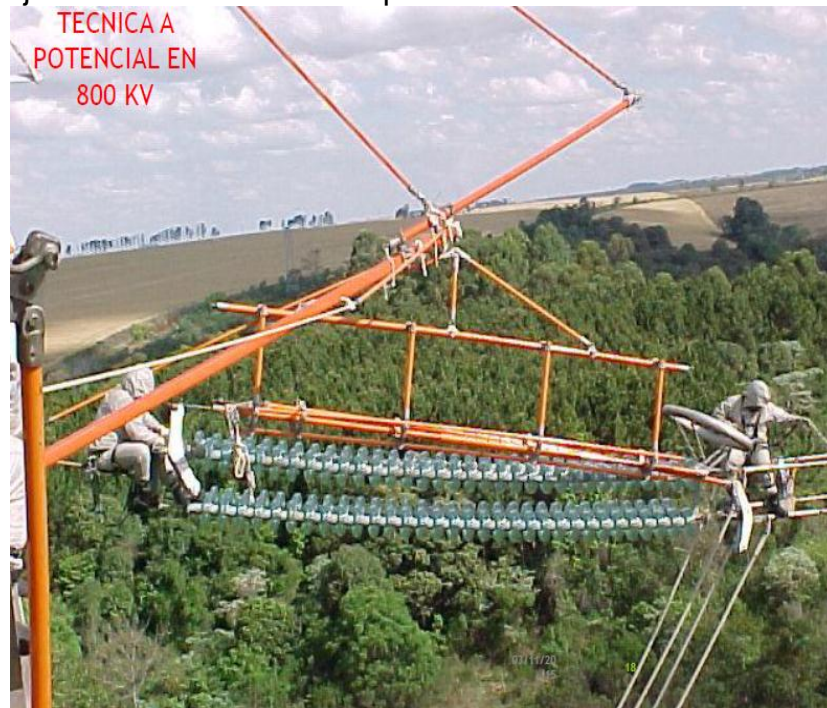


Fuente: Informe Ing. Oscar Guarín EPM. Noviembre 6 del 2015

1.1.3 TÉCNICA A POTENCIAL:

La persona ingresa con un traje conductivo al mismo potencial de línea, debido al comportamiento del campo eléctrico al circular por un conductor se producen fenómenos como el efecto piel, es decir la corriente no atraviesa el cuerpo humano sino que trata de circular superficialmente, por eso el traje conductivo debe tener una resistencia baja para que el nivel de potencial sea el mismo, pero no afecte a la persona. El traje conductivo permite al trabajador realizar sus trabajos de mantenimiento directamente con las manos, interviniendo al sistema desde 44 kV hasta 800 kV, esto requiere profesional altamente calificado y obliga a cumplir estrictamente las distancias de seguridad, se pueden realizar trabajos con canastas, grúas, andamios, escaleras, varas, bastones, pértiga, etc. Las distancias con la que se trabaja con esta técnica benefician al trabajador. Esta última técnica de TCT permite combinarse con la técnica a distancia y es un método se basa en el principio eléctrico de la jaula de Faraday.

Figura 3. Trabajo en línea viva técnica a potencial.



Fuente: Informe Ing. Oscar Guarín EPM. Noviembre 6 del 2015

1.1.4 TÉCNICA ROBÓTICA:

Desarrollada en los últimos años del siglo pasado, es una extensión del trabajo a contacto pero ejecutado con un servo mecanismo, de tal manera que el liniero–operador permanezca alejado de la red y los trabajos los ejecuten como si el servo mecanismo fuera una extensión de sus manos (ver figura 4). Esta técnica es utilizada en algunos estados de Norte América, países Europeos y asiáticos, donde la reglamentación en el campo de la seguridad es muy exigente. Los equipos utilizados en esta técnica son demasiado costosos y están en continuo desarrollo y debido a estas condiciones son difíciles de adquirir. Su uso facilita los trabajos y no permite el contacto directo del operario con la línea.

Figura 4. Trabajo en línea viva técnica robótica.



Fuente: Informe Ing. Oscar Guarín EPM. Noviembre 6 del 2015

2. REQUISITOS LEGALES PARA LA EJECUCIÓN DE PRUEBAS DE AISLAMIENTO A GUANTES Y PÉRTIGAS

En el presente capítulo, se indica la normatividad nacional e internacional, así como la legislación existente para el diseño, construcción y ejecución de pruebas dieléctricas a guantes y pértigas. A continuación, se enumeran los laboratorios en Colombia que prestan el servicio de pruebas de aislamiento a estos elementos. En último lugar se muestra una descripción general de las pruebas sobre los elementos de protección personal empleados en trabajos con tensión.

2.1 NORMATIVIDAD VIGENTE PARA CERTIFICACIONES DIELÉCTRICAS

2.1.1 Normatividad nacional

El acto legislativo para el sector eléctrico en Colombia se da por medio del RETIE, donde se estipulan las diferentes leyes, normas, resoluciones y demás atributos legales y constitucionales para el manejo de los diferentes campos que se contemplan en esta área. Por medio de este reglamento, se instruye al personal como se pueden realizar trabajos, maniobras, certificaciones, aprobaciones y demás, basándose en los diferentes entes aprobatorios y legales del Estado.

Para demostrar la calidad de los productos, personas, laboratorios, pruebas y ensayos los capítulos 10, 11, y 12 del RETIE estipulan la normatividad vigente, otorgando prioridades las personas que brindan un bien o servicio y teniendo en cuenta a los usuarios.

El capítulo 10 del RETIE, estipula los mecanismos de evaluación de conformidad, que por medio de la Ley 1480 del 2011⁷ otorga las facultades de apoyo, control y vigilancia a los organismos de evaluación, haciéndolos responsables por los servicios que presten dentro del marco del certificado o del documento de la conformidad que se hayan expedido.

⁷ Ley 1480 del 2011 que determina los requerimientos y disposiciones para los usuarios de la energía disponible en http://www.secretariassenado.gov.co/senado/basedoc/ley_1480_2011.html. Consultado 28 de abril de 2016

Para su acreditación “los laboratorios de calibración, laboratorios de pruebas y ensayos; los organismos de certificación y los organismos de inspección que intervengan en el proceso de demostración de la conformidad con el presente reglamento, deben estar acreditados por el Organismo Nacional de Acreditación – ONAC⁸, conforme al Decreto 2124 de 2012⁹ y deben cumplir las norma expedidas por éste organismo de acreditación y demás normatividad aplicable sobre la materia”¹⁰.

Los laboratorios de pruebas y ensayos deben cumplir con los siguientes requisitos, salvo las excepciones definidas en el RETIE:

- Los ensayos y pruebas requeridas para la expedición de los certificados de conformidad de los productos, deben ser realizados en laboratorios acreditados por el “Organismo Nacional de Acreditación” ONAC.
- Los organismos de certificación, solicitarán al laboratorio acreditado la realización de las pruebas y ensayos requeridos, y este en un plazo no mayor a 15 días calendario, después de recibir la solicitud con la suficiente precisión del servicio requerido, deberán comunicarle al organismo de certificación el tiempo máximo en que podrán entregar los resultados de las pruebas o ensayos.
- Sólo en caso de no existir laboratorios acreditados para la realización de los ensayos, o que los laboratorios acreditados hayan manifestado por escrito no poder atender la solicitud en un plazo menor a 30 días, los ensayos o pruebas se podrán efectuar en laboratorios evaluados previamente por el organismo de certificación, en este caso el laboratorio evaluado debe iniciar su proceso de acreditación dentro del año siguiente a la prestación del primer servicio bajo ésta condición. Si ha vencido el plazo de dos años contados a partir del primer servicio prestado este laboratorio no ha obtenido su acreditación respectiva, no se podrán seguir utilizando sus servicios.
- Cuando no exista en Colombia laboratorios para la realización de algunas de las pruebas o ensayos requeridos para demostrar la conformidad con el

⁸ Organismo Nacional de Acreditación-ONAC. Disponible en <http://www.onac.org.co/> Consultado el 20 de Septiembre del 2015.

⁹ Decreto 2124 de 2012. Del ministerio de Industria y Comercio Disponible en <http://wsp.presidencia.gov.co/Normativa/Decretos/2012/Documents/OCTUBRE/16/DECRETO%202124%20DEL%2016%20DE%20OCTUBRE%20DE%202012.pdf> consultado el 30 de noviembre del 2015.

¹⁰ Artículo 32.1 RETIE. Disponible en RETIE, versión actualizada 2015. Consultado el 15 de Septiembre del 2015.

RETIE de un producto determinado, el organismo de certificación acreditado en Colombia podrá aceptar pruebas y ensayos realizados en el exterior, siempre que sean efectuadas por laboratorios acreditados preferencialmente por organismos de acreditación reconocidos por ILAC (International Laboratory Accreditation Cooperation) o a IAF (International Accreditation Forum) o en su defecto que tengan un reconocido prestigio, sin dejar de lado la responsabilidad que le asiste al organismo certificador en la evaluación de la conformidad del producto.

Para el caso de los organismos de certificación de productos, se aceptan certificados emitidos y acreditados por la ONAC y que se convalide por la Superintendencia de Industria y Comercio SIC. Debe tener los requerimientos de la guía ISO IEC 65, y los productos deben pasar las pruebas y ensayos que se realicen en laboratorios certificados. Para la aceptación de los productos se debe obedecer a la norma ISO/IEC 17067 y para la clasificación de muestras se debe tener en cuenta lo que se establece en el resto del capítulo 10 del RETIE.

El capítulo 11 del RETIE estipula la VIGILANCIA, CONTROL Y RÉGIMEN SANCIONATORIO que corresponde a la Superintendencia de Servicios Públicos Domiciliarios SSPD, Superintendencia de Industria y Comercio SIC, alcaldías municipales o distritales y la Dirección de Impuestos y Aduanas Nacionales DIAN de acuerdo a las actividades propias de cada entidad.

En el caso de hacer trabajos en línea viva e interrumpir el sistema más de lo legalmente previsto, el artículo 36 del RETIE, parágrafos e y h determinan que:

“e. Dentro de las facultades de supervisión y control de la Superintendencia de Industria y Comercio SIC, otorgadas por la Ley 1480 de 2011 y el Decreto 3735 de 2009, en relación con los reglamentos técnicos cuya vigilancia tenga a su cargo, podrá imponer las medidas y sanciones previstas en esta ley, a los productores, ensambladores, importadores, constructores y demás responsables de los productos e instalaciones objeto de **RETIE**, así como a quienes evalúen su conformidad, violando el reglamento.

h. Sin perjuicio de las sanciones por el incumplimiento del presente reglamento que le imponga la SIC o las alcaldías, en cumplimiento de la Ley 1480 de 2011, en relación con la responsabilidad que les asiste por el diseño, construcción, inspección, operación o mantenimiento de las instalaciones eléctricas. La vigilancia y control del ejercicio profesional de los ingenieros, tecnólogos y técnicos de la electrotecnia, que intervienen en dichas instalaciones corresponde a los Consejos Profesionales, conforme a

las leyes que regulan el ejercicio de dichas profesiones (Ley 842 de 2003 y Ley 1264 de 2008).”

Las multas y sanciones que establece el Gobierno de Colombia y que a través de la CREG, se determina por medio del Decreto 3735 de 2009 Artículo 1¹¹, establecen que:

“Artículo 1º. El artículo 39 del Decreto 2269 de 1993, modificado por el artículo 4º del Decreto 3144 de 2008, quedará así:

En desarrollo de las facultades de supervisión, control y vigilancia, asignadas por la ley a la Superintendencia de Industria y Comercio, esta podrá, previa investigación realizada, sancionar con multa hasta de mil (1.000) salarios mínimos legales mensuales vigentes a favor del tesoro nacional a los productores, importadores y/o comercializadores de bienes o servicios sometidos al cumplimiento de reglamentos técnicos y/o prohibir la comercialización de los bienes o servicios, por violación a lo señalado en el presente decreto y en los respectivos reglamentos técnicos. Los gastos correspondientes a ensayos e inspecciones de laboratorio estarán a cargo de la entidad sometida a supervisión.

Así mismo, de acuerdo con sus competencias legales, los Alcaldes podrán adelantar las actuaciones administrativas e imponer las sanciones señaladas en este artículo en el territorio de su jurisdicción, en caso de incumplimiento de las disposiciones relativas a etiquetado, contenidas en los reglamentos técnicos, para lo cual observarán las disposiciones aplicables de la parte primera del Código Contencioso Administrativo. Las multas impuestas por los Alcaldes serán a favor del Tesoro Municipal respectivo.

Lo anterior, sin perjuicio de las competencias propias de la Dirección de Impuestos y Aduanas Nacionales. Para estos efectos, los Alcaldes darán aviso a esa entidad.

La entidad de vigilancia y control que conozca del incumplimiento de un Reglamento Técnico e inicie la actuación administrativa correspondiente, proseguirá con la investigación hasta su terminación.”

El capítulo 12 del RETIE estipula LA VIGILANCIA, CONTROL Y RÉGIMEN SANCIONATORIO, dependiendo de las actividades comerciales y condiciones particulares del producto, determinando que para poder hacer ensayos eléctricos deben estar acreditados y certificados los laboratorios, el laboratorista y la prueba

¹¹ Decreto 3735 de 2009 artículo 1 que modifica el artículo 39 del decreto 2269 de 1993 disponible en: <http://www.alcaldiabogota.gov.co/> consultado el 3 de septiembre del 2015.

que se vaya a realizar por medio de la ONAC, asegurando que los clientes aprueben el producto y sea satisfactorio para las tareas que fue adquirido. Las resoluciones, normas y reglamentos mencionados constan de un referente normativo de tipo legal que tiene influencia en el control de riesgos eléctricos.

2.1.2 Normatividad internacional para pruebas en guantes y pértigas

Los ensayos que se realicen en un laboratorio tienen como referencia unas normas constituidas mundialmente para la aceptación del producto en trabajos de tensión. Cada Operador de Red (OR) debe cumplir con los parámetros establecidos por los órganos regulatorios (equivalentes a la CREG) donde se estipulan algunos parámetros para la realización de estas pruebas como sugiere en la normas ASTM D120, ASTM 496, ISO 60903, ASTM-F711 e IEEE 978; tanto para guantes como para pértigas respectivamente, con la finalidad de disponer de los elementos de seguridad en la capacidad de operación para así manipular el sistema de forma segura y no poner en riesgo la vida del trabajador.

Colombia se acoge a esta normatividad internacional en lo referente a las pruebas de prototipo, fabricación y mantenimiento tanto para guantes como para pértigas.

- Normatividad para guantes

Para los ensayos en guantes, la norma ASTM D120¹² (Standard Specification for Rubber Gloves) estipula la fabricación y prueba de guantes de caucho para protección de descargas eléctricas al obrero (ver figura 5), los tipos de guantes, las clases de guantes y los sistemas de unidades que se manejan por medio de la norma ASTM SI 10, además de las normas ASTM F 496¹³ e ISO 60903¹⁴.

Para los guantes dieléctricos, se deben realizar dos pruebas al año después de su prestación de servicio o uso según lo definido en el estándar ASTM D120 – 14A. Esta norma no pretende enseñar a usar los implementos, pero permite establecer los niveles de tensión que se manejan al ser usados en los diferentes trabajos de tensión, donde:

- Se debe asegurar un margen en la tensión máxima y la tensión de prueba.

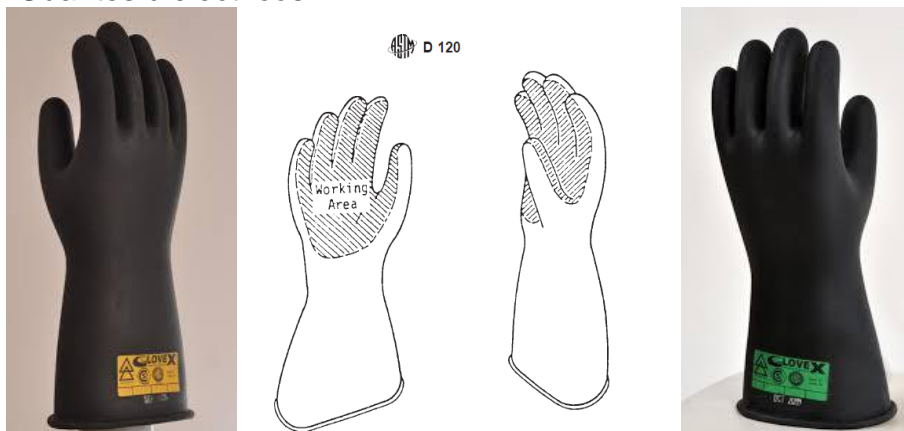
¹² ASTM D 120. standard specification for rubber gloves disponible en línea o en los formatos ASTM. <http://www.astm.org/>

¹³ ASTM F 496. Standard Specification for In-Service Care of Insulating Gloves and Sleeves

¹⁴ ISO 60903 en línea o en los formatos ASTM. <http://www.astm.org/>

- No se evalúan las condiciones de trabajo debido a los distintos factores que pueden afectar su uso (condiciones climáticas, diseño de construcción, técnicas de trabajo, etc).
- Es responsabilidad del usuario hacer buen uso del elemento siguiendo las instrucciones recomendadas por el fabricante.

Figura 5. Guantes dieléctricos



Fuente: Norma ASTM D120, informe EBSA E.S.P. 28 de Enero del 2016

- Normatividad para pértigas

Las pértigas son varas rígidas aislantes de una o varias secciones que permiten los trabajos a distancia en TCT (ver figura 6). Legislativamente se contemplan las normas IEEE 978 de 1984¹⁵ “Guía para Servicio en Mantenimiento y Pruebas Eléctricas de las herramientas de línea viva” y el estándar ASTM F-711¹⁶ para pértigas “especificación estándar para fibra de vidrio - plástico reforzado (FRP) barra y tubo utilizado en herramientas de línea”.

En dichos reglamentos, se establecen las distintas herramientas y las posibles configuraciones que permiten tener las pértigas con sus respectivos accesorios, además de los niveles de tensión que se usan para realizar las pruebas ya sea en húmedo o en seco y las distancias de aplicación de la tensión.

¹⁵ IEEE 978 de 1984 guide for in service maintenance and electrical testing of line lives tools. Consultado en base de datos UN. El 3 de Julio del 2015.

¹⁶ ASTM F711 estándar specification for in- service care of Insulating Gloves and Sleeves. Disponible <http://www.astm.org/> y normatividad vigente ASTM. 18 de Febrero 2016.

Para el caso específico de Uruguay, además existe la normatividad de la Administración Nacional de Usinas y Trasmisiones Eléctricas (UTE)¹⁷ que permite un conocimiento previo acerca de los materiales usados para la fabricación de pértigas, los distintos tipos de pértigas que existen, sus campos de aplicación, características técnicas y los accesorios correspondientes. La norma de distribución N.MA.01.19/2 pértigas de maniobra para MT¹⁸, y la especificación técnica E.T. 01 20/0 Pértigas telescópicas¹⁹.

Figura 6. Pértigas.



Fuentes: CARE, MAINTENANCE, AND TESTING OF HOT LINE TOOLS. 17 de Febrero del 2016.

¹⁷ Administración Nacional de Usinas y Trasmisiones Eléctricas UTE. empresa propiedad del Estado uruguayo que se dedica a las actividades de generación, transmisión, distribución y comercialización de energía eléctrica, prestación de servicios anexos y consultoría. - See more at: <http://portal.ute.com.uy/institucional/qui%C3%A9nes-somos#sthash.t2g16Hnd.dpuf> 18 de Febrero 2016.

¹⁸ NORMA DE DISTRIBUCIÓN N. MA.01.19/2 PÉRTIGAS DE MANIOBRA PARA MT. Disponible en <http://www.ute.com.uy/Empresa/lineas/distribucion/normalizacion/docs/NMA01192.pdf> y obtenido www.ute.com. 5 de julio del 2015.

¹⁹ E.T. 01 20/0. Normatividad Uruguaya disponible en <http://www.ute.com.uy/Empresa/lineas/distribucion/normalizacion/docs/ET01200.pdf> 4 de Julio del 2015.

2.2 DESCRIPCIÓN Y TIPOS DE PRUEBAS DIELECTRICAS

Existen varias pruebas eléctricas que se denominan con relación al lugar o la finalidad de las mismas. Las pruebas dieléctricas determinan la capacidad resistiva o aislamiento que tienen los elementos de seguridad, equipos o instalaciones para cumplir con el trabajo pertinente para el que sea haya elaborado. Para realizar pruebas o ensayos se requieren determinar las características principales cuyo estado se desea verificar, ya sea para vender un producto o para constatar sus propiedades cuando ya se ha usado.

Según Prado²⁰, los tipos de pruebas dieléctricas son:

- **Pruebas prototipo.** Son aquéllas que se realizan a diseños nuevos, con la finalidad de verificar si se cumple con las especificaciones y normas que apliquen, según sea el caso, considerando la evaluación de los materiales utilizados, así como los criterios de diseño.
- **Pruebas de fábrica.** Éstas se realizan como rutina, por parte del área de control de calidad, conforme a los métodos establecidos en las normas aplicables. Tienen el objetivo de verificar las características del equipo, sus condiciones de operación y la calidad de la fabricación antes de ser entregados al cliente. Estas pruebas pueden ser atestiguadas por el cliente
- **Pruebas de aceptación.** Se realizan a todo equipo nuevo y reparado para verificar que no ha sufrido algún desperfecto en el traslado, que cumple con las especificaciones y que se ha realizado la correcta instalación. También se realizan para establecer referencias para pruebas futuras. Estas pruebas se realizan previamente a la puesta en servicio.
- **Pruebas de mantenimiento.** Se realizan periódicamente durante toda la vida del equipo, con el propósito de verificar si el equipo se encuentra en condiciones de operación satisfactorias y detectar fallas de manera oportuna, antes de que se convierta en un problema grave. Se realizan cuando existen sospechas de que un equipo se halla en problemas o cuando dicho equipo se ha sometido a condiciones de trabajo extremas.

²⁰ Constructor eléctrico. José Julián Prado. <https://constructorelectrico.com/pruebas-electricas-y-dielectricas/> 18 de febrero de 2016.

- **Pruebas con corriente directa DC o corriente alterna AC.** Las pruebas se realizan con corriente directa o con corriente alterna, dependiendo de lo que se desea simular o valorar. En términos generales, el principio básico de las pruebas obedece a la Ley de Ohm. Por ejemplo: la prueba de resistencia de aislamiento, en ella, el instrumento inyecta una tensión eléctrica (en V), y se mide una corriente de fuga (en μA) para encontrar el valor de la resistencia (en $\text{M}\Omega$) como:

$$R = \frac{V}{I} \quad \text{Ec (1)}$$

Entre los instrumentos de medición que operan con corriente directa, se encuentran: medidor de resistencia de aislamiento (megóhmetro), probador de potencial aplicado (hi-pot) y medidor de resistencia (óhmetro).

Las pruebas con corriente alterna, en términos generales, producen esfuerzos eléctricos similares a las condiciones reales de operación de los equipos, como las pruebas de factor de disipación, pruebas de relación de transformación, reactancia de dispersión, resistencia a tierra y potencial aplicado a frecuencia nominal o a baja frecuencia que en general muestran de forma detallada si existe un evento real en circunstancias reales. Empresas como SOFAMEL²¹ en España y Salisbury by Honeywell's²² de Inglaterra, se encargan de la fabricación de guantes y pértigas dieléctricas, por lo que deben desarrollar pruebas de prototipo y de fábrica.

En Colombia existen fabricantes de elementos de seguridad industrial que permiten su adquisición de manera rápida, que incluyen el desarrollo de guantes en materiales como acero para carnicería, acero inoxidable, algodón, aluminizado, asbesto, carnaza, cuero, dril, drylon, dulceabrigo, dynema, hilaza, hilo, kevlar, látex, lona, neopreno, nitrilo, nomex, nylon, plástico, poliéster, PVA, PVC, tula, vaqueta, vinilo, yin²³. Sin embargo, no existen fabricantes nacionales de guantes ni pértigas dieléctricas, por lo que se requieren de servicios de importación ofrecidos

²¹ Sofamel S.L. es una empresa española dedicada a la fabricación de material eléctrico de conexión, así como material de seguridad y protección eléctrica. <http://sofamel.com/es/product-catalogue>. 9 de abril de 2016.

²² http://www.salisburybyhoneywell.com/en/products/gloves_sleeves/linemen_mittens

²³ Serviguantes. Medellín – Colombia. Consultado en: <http://www.serviguantes.com/Productos.aspx?ParteDelCuerpoAProtegerName=Manos+y+Brazos&MaterialName=Yin>. Obtenido el 9 de abril de 2016.

por empresas como Innova Safety S.A.S.²⁴ y Perdomo Business Group²⁵, Segurinsa de Sibille Fameca Electric²⁶.

Para el caso de las pértigas, la empresa colombiana Escaleras Eléctricas de Colombia del Caribe²⁷ las fabrica con niveles de tensión de hasta 66 kV, inferior al estándar de pruebas de 100 kV. Lo que implica que las empresas prestadoras de servicio eléctrico público u operadores de red, requieren de la realización de pruebas futuras de mantenimiento y aceptación, para la verificación de estándares de calidad y el cumplimiento de la normatividad establecida con respecto a los parámetros de aislamiento eléctrico.

2.3 LABORATORIOS DE ENSAYOS

El sector eléctrico requiere todo tipo de trabajos en diferentes áreas, por eso se hace tan importante que el servicio que los OR (Operadores de Red) brinden sea seguro, eficiente y altamente confiable. Con el fin de verificar el estado eléctrico de elementos, equipos o instalaciones para no des-energizar el sistema, es necesario cumplir con la normatividad requerida.

Los laboratorios que realicen ensayos dieléctricos deben estar acreditados por el ONAC bajo el estándar NTC ISO-17025²⁸ indicando que para realizar ensayos de forma acreditada se deben certificar los laboratorios, el laboratorista y la prueba a realizar. En Colombia, algunas empresas prestadoras del servicio de energía eléctrica y otras particulares, cuentan con laboratorios para realizar pruebas dieléctricas tanto a equipos de protección personal como a elementos de protección personal como prendas usadas en el trabajo, pero solo el laboratorio de Empresas Públicas de Medellín EPM y de Línea Viva S.A.S. en Bogotá están certificados para realizar ensayos dieléctricos de manera adecuada a guates y pértigas. Los demás laboratorios u OR no certificados hacen otras pruebas dieléctricas y entrenan personal. Dichas empresas son:

²⁴ Innova Safety S.A.S. Bogotá Colombia. Consultado en: <http://innovasafety.com.co/index.php/quienes-somos>. Obtenido el 9 de abril de 2016.

²⁵ Perdomo Business Group. Consultado en: <http://pbq.com.co/>. Obtenido el 9 de abril de 2016.

²⁶ SEGURINSA ESP. WORLDLIGHT DO BRASIL ELECTRO Ltda - Noel SAGRISTA - Coordinador America del Sur y Brasil. Consultado en <http://www.sf-electric.com/nos-produits>. Obtenido el 9 de Abril de 2016.

²⁷ Escaleras Eléctricas de Colombia del Caribe obtenido en <http://www.escalerasdecolombia.com/pertigas.htm>. 9 de Abril del 2016

²⁸ NORMA TÉCNICA COLOMBIANA NTC-ISO/IEC 17025. Requisitos generales para la competencia de los laboratorios de ensayo y calibración. 26 de Octubre del 2015.

- EMCALI ubicado la ciudad de Cali departamento del Valle del Cauca: laboratorio de ensayos dieléctricos a elementos de protección personal en redes energizadas hasta 34.5 kV a guantes, botas, aisladores y protectores de línea.
- ELECTRICARIBE. Costa Norte Colombiana, oficina principal en Barranquilla.
- CENS ubicado en Cúcuta, Norte de Santander.
- CHEC Central Hidroeléctrica de Caldas.

Los laboratorios independientes a las empresas prestadoras del servicio eléctrico se resumen en la tabla 1. En Colombia hay muy pocos laboratorios acreditados por medio de la norma NTC/ ISO 17025, haciendo que el mercado sea limitado, ya que solo existen cuatro laboratorios acreditados de forma completa, debido a que muchas de las pruebas se realizan con elementos rudimentarios. Al emitir un criterio se determina de forma inherente un compromiso que garantizará un mínimo riesgo en los operadores de TCT que implican consecuencias de integridad humana para las personas que usan los elementos de seguridad en el trabajo de línea viva.

Tabla 1. Laboratorios nacionales para pruebas dieléctricas.

LABORATORIO	UBICACIÓN	ENLACE
FyR Ingenieros Ltda Laboratorio de Ensayos Eléctricos	Bogotá	http://www.fyringenieros.com/laboratorio-de-ensayos-electricos/
Compañía Colombiana Línea Viva Ltda ²⁹	Bogotá	http://www.lineavivaltla.com/servicios.htm
Laboratorio de Ensayos Eléctricos Industriales LABE Universidad Nacional de Colombia	Bogotá	http://www.ingenieria.unal.edu.co/es/investigacion-fi/laboratorios
Laboratorio de Alta Tensión Universidad del Valle	Cali	http://gralta.univalle.edu.co/lat/alta-serv.html
Laboratorio de Alto Voltaje Universidad Nacional de Colombia	Medellín	http://www.minas.medellin.unal.edu.co/dirlab/index.php/laboratorios/laboratorio-de-alto-voltaje
Laboratorio de Ensayos a la Industria de Ingeniería Eléctrica y Electrónica Universidad Pontificia Bolivariana	Medellín	http://laboratorios.medellin.upb.edu.co/index.php/portafolio/aeronautica.html
Laboratorio de ensayos dieléctricos JORGE LEÓN MARÍN Y CIA LTDA	Barranquilla	http://www.jorgeleonbedoya.com/laben.html
Laboratorio de ensayos eléctricos NEXANS COLOMBIA S.A. - NEXANS S.A.	Medellín	http://www.onac.org.co/directorios/anexos/archivos/obj01/ALCANCESLABENSAYO/archivocertificado-1794-539.pdf
Red Nacional de Laboratorios del Sector Eléctrico Colombiano conformada por ABB, UNAL, UIS, UNIVALLE, CIDET, SIEMENS	Servicio Nacional	http://www.rnl.com.co/Content/Resources/brochure.pdf

Fuente: Autor.

²⁹ MEJÍA E. Estudio de factibilidad para el montaje del laboratorio de pruebas equipo línea viva empresa living. S.A. Informe de trabajo de grado. Universidad Distrital Francisco Jose de Caldas. Bogotá. Disponible en: <http://repository.udistrital.edu.co/handle/11349/1038> 2015-05-16

3. PRUEBAS DIELECTRICAS PARA GUANTES Y PÉRTIGAS

En el presente capítulo se analizan los sistemas de pruebas dieléctricas a guantes y pértigas, partiendo de una clasificación general de estos elementos; y las pruebas realizadas según las normas, requisitos y secuencias. También se indican los voltajes de prueba y los criterios de aceptación o rechazo.

3.1 CLASIFICACIÓN DE LOS GUANTES DIELECTRICOS

Los guantes dieléctricos son designados como Tipo I o Tipo II y en cada caso subdivididos como clase 00, 0, 1, 2, 3 y 4. La designación de tipo se determina por las normas ASTM D 120 y UNE-EN 60903 de 2005:

- Tipo I: no resisten al ozono, fabricados con un alto grado compuesto CIS-1,4-poli-isopreno de origen natural o sintético, vulcanizado adecuadamente.
- Tipo II: resistente al ozono, hecho de cualquier elastómero o combinación de compuestos de elastómero.

La designación de clase se basa en las propiedades eléctricas como se muestra en las tablas 2 y 3:

Tabla 2. Requerimientos de voltaje en AC.

CLASE DE GUANTE	VOLTAJE DE PRUEBA [VRMS]	VOLTAJE DE RUPTURA (Breakdown) [VRMS]	Máxima corriente de prueba [mA rms] / TALLA GUANTE			
			280 [mm]	360 [mm]	410 [mm]	460 [mm]
00	2500	4000	8	12	No aplica	No aplica
0	5000	6000	8	12	14	16
1	10000	20000	No aplica	14	16	18
2	20000	30000	No aplica	16	18	20
3	30000	40000	No aplica	18	20	22
4	40000	50000	No aplica	No aplica	22	24

Fuente: norma ASTM D 120.

Tabla 3. Requerimientos de voltaje en DC.

CLASE DE GUANTE	VOLTAJE PROMEDIO DE PRUEBA [V]	VOLTAJE PROMEDIO DE RUPTURA (DESGLOCE) [V]
00	10000	13000
0	20000	35000
1	40000	60000
2	50000	70000
3	60000	80000
4	70000	90000

Fuente: norma ASTM D 120

3.1.1 Marcación y etiquetado

Los guantes deben estar marcados de forma clara y permanente con el nombre de fabricante o proveedor, tipo, tamaño y clase (ver figuras 7 y 8). Cuando son usados deben tener el sello de conformidad de la última prueba realizada. Cada guante se debe marcar con una etiqueta de la información especificada anteriormente de forma clara. Esta etiqueta será del color que se maneja según los niveles de tensión para los cuales fue fabricado según como se indica en la tabla 5. Los tamaños estándar son los siguientes con una variación permisible de 13 mm (1/2 in.)

- 203 mm (8 ")
- 216 mm (8 1/2 ")
- 229 mm (9 ")
- 241 mm (9 1/2 ")
- 254 mm (10 ")
- 267 mm (10 1/2 ")
- 279 mm (11 ")
- 292 mm (11 1/2 ")
- 305 mm (12 ")

Tabla 4. Color etiqueta del guante.

Clase del guante	Color
00	Beige
0	Rojo
1	Blanco
2	Amarillo
3	Verde
4	Naranja

Fuente: Norma UNE-EN 60903³⁰, Autor

Figura 7. Ejemplo de etiquetado de guantes.



Fuente: <https://www.northernsafety.com/Product/8552/Salisbury-by-Honeywell-11-Class-0-Natural-Rubber-Linemens-Gloves>

³⁰ UNE-EN 60903:2005 Trabajos en tensión. Guantes de material aislante. Disponible en http://www.insht.es/InshtWeb/Contenidos/Documentacion/TextosOnline/Divulgacion_Normativa/Ficheros/FDN_20.pdf. 05 de Enero del 2016

Figura 8. Diferencias en etiquetado de guantes dieléctricos.

CLASS COLOUR	PROOF TEST VOLTAGE AC / DC	MAX USE VOLTAGE AC / DC *	RUBBER MOLDED PRODUCTS LABEL	GLOVE LABEL	RUBBER DIPPED SLEEVE LABEL
00 BEIGE	2,500 / 10,000	500 / 750*			
0 RED	5,000 / 20,000	1,000 / 1,500*			
1 WHITE	10,000 / 40,000	7,500 / 11,250*			
2 YELLOW	20,000 / 50,000	17,000 / 25,500*			
3 GREEN	30,000 / 60,000	26,500 / 39,750*			
4 ORANGE	40,000 / 70,000	36,000 / 54,000*			

Fuente: LTL³¹

3.2 PRUEBA DE VOLTAJE SOSTENIDO EN GUANTES

Se denomina prueba de voltaje sostenido³² al ensayo que se realiza a los guantes sometidos a una diferencia de potencial que se eleva hasta su nivel de voltaje promedio de prueba, manteniéndolo durante un tiempo determinado de 1 minuto. Este tipo de prueba supone una inspección previa de sus propiedades físicas del guante verificando que no tenga fisuras, quemaduras, porosidades entre otros aspectos que desde un inicio ya permiten rechazarlo como un elemento de protección dieléctrica.

A partir de lo establecido en la norma ASTM D 120 Artículo 18 para pruebas eléctricas, se presenta la prueba de voltaje sostenido teniendo en cuenta que:

- La tensión debe subir de manera controlada por medio de un variac a razón de 1000V/s hasta la tensión permitida según la clase del guante.
- Todas las pruebas se realizarán a temperatura ambiente, los guantes se llenarán con agua del grifo y se sumergirán en agua a una profundidad

³¹ LTL. LINEMAN'S TESTING LABORATORIES OF CANADA LIMITED. Proper Insulating Rubber Glove Care, Use & Testing. Obtenido de http://www.ltlutilitysupply.com/a/pdfs/products/20140303110650_20130625111938_insulatingrubberglovescareanduse_201306.pdf. Consultado el 9 de abril de 2016.

³² Nombre de pruebas en matrimol, Universidad del Valle <http://matrimol.com/pruebaslab.php>
Traducción literal por autor del proyecto. Consultado el 9 de abril de 2016.

considerando un espacio libre en el mango del guante de acuerdo con la tabla 5 para la tensión que se vaya a usar (ver figura 9).

El agua durante el ensayo deberá tener las mismas características químicas dentro y fuera del guante, además debe estar libre de burbujas y bolsas de aire dentro y fuera del guante, y la parte expuesta del guante por encima de la línea de agua deberá estar seca.

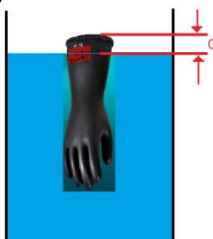
- El agua dentro del guante deberá tener un electrodo que estará conectado a una terminal de la fuente de tensión ya sea en forma de varilla, cadena móvil o deslizante dentro del agua. El agua dentro del tanque y fuera del guante deberá tener contacto con la otra terminal de la fuente de tensión.

Tabla 5. Espacios libres – línea de agua. (d)

Clase de guante	AC				DC			
	Ensayo de resistencia (d) [mm]	Ensayo de resistencia (d) [in]	Ruptura (d) [mm]	Ruptura (d) [in]	Ensayo de resistencia (d) [mm]	Ensayo de resistencia (d) [in]	Ruptura (d) [mm]	Ruptura (d) [in]
00	38	1½	38	1½	38	1½	51	2
0	38	1½	38	1½	38	1½	51	2
1	38	1½	64	2½	51	2	102	4
2	64	2½	76	3	76	3	127	5
3	89	3½	102	4	102	4	152	6
4	127	5	165	6½	153	6	178	7

Fuente: Norma ASTM D 120 artículo 18

Figura 9. Espacio libre de agua (d)



Fuente: Autor

En el método de voltaje sostenido, se puede realizar pruebas con tensión alterna o continua, en función de la selección del propietario de los elementos. Como precaución, se debe considerar que las principales recomendaciones para la realización de ensayos sin inconsistencias o problemas son:

- Se recomienda que el aparato de pruebas sea diseñado para la plena protección del operador en el desempeño de sus funciones.

- Se deben prever medios seguros de des-energización y puesta a tierra del circuito de baja y alta tensión.
- Es importante incorporar un medio de puesta a tierra de la sección de alto voltaje del aparato de prueba de “corriente continua” debido a la alta capacitancia por el agua acumulada entre terminales en el lado de alta tensión al finalizar la prueba.

Con respecto al equipo de prueba utilizado en el ensayo, aceptación y pruebas de ruptura dieléctrica deberá ser capaz de suministrar corriente continuamente o de forma variable durante el ensayo. Adicionalmente:

- Se requiere una regulación motorizada del nivel de tensión para aumentar de manera controlada la tensión de prueba.
- El aparato de ensayo, debe estar protegido por un elemento de cierre o apertura del circuito de forma automática para abrir rápidamente el circuito y no dañar el espécimen bajo prueba ni el resto del equipo que lo conforma.
- El equipo deberá ser inspeccionado al menos una vez al año para asegurar que su estado general se encuentra en condiciones óptimas para desarrollar la prueba.
- Se requiere calibrar el equipo por lo menos una vez al año de acuerdo con la norma ASTM D 2865.
- Para eliminar el ozono dañino y la posible descarga disruptiva a lo largo del manguito del guante debe haber un flujo suficiente de aire dentro y alrededor de la cubeta de prueba y un sistema de escape para eliminar adecuadamente la capa de ozono de la máquina de pruebas. El corte consistente de ozono y la comprobación durante el procedimiento de prueba debe ser motivo para determinar el sistema de escape adecuado.
- Debe haber un indicador de inicio a la prueba o de error para reiniciarse por medio del operador antes de continuar con las pruebas.

3.2.1 Pruebas de corriente alterna AC

En la prueba AC, cada guante deberá someterse a una verificación de conformidad con los requisitos numeral 11,1 de la norma ASTM D120 y de la norma ISO 60903 que establecen:

- El voltaje de prueba deseado se puede obtener de forma más fácil a partir de un transformador elevador energizado desde una fuente de bajo voltaje.
- El transformador y su equipo deberán ser diseñados de forma tal que el espécimen de prueba en el circuito, cumpla con los niveles requeridos.
- La forma correcta para medir un valor rms de la onda de tensión sinusoidal puede hacerse mediante los siguientes métodos:
 - i. Se usa un voltímetro junto a un transformador de medida calibrado y conectado directamente a través del circuito de alta tensión.
 - ii. Un voltímetro electrostático calibrado y conectado directamente en el circuito de alta tensión.
 - iii. Un voltímetro conectado a una bobina terciaria en el transformador de prueba, siempre que se haya mostrado que la relación de prueba del transformador de prueba no varía.
 - iv. Un medidor AC conectado directamente en serie con las resistencias apropiadas de alta tensión en el circuito de alta tensión. La precisión adoptada para el voltaje de medición debe estar dentro del 62% de la escala completa.
- Un voltímetro conectado al lado de baja tensión del transformador de pruebas puede ser usado solo si la relación de transformación no es alterada cuando se implemente la carga. Para comprobar la exactitud se puede usar un voltímetro para medir la diferencia de campos del transformador.
- Si se desea medir, el factor de cresta puede ser controlado por la función pico y su lectura en el voltímetro conectado directamente a través del circuito de alta tensión o con un voltímetro electrostático junto a un instrumento transformador de potencia conectado en el circuito de alta tensión.
- La corriente de prueba se medirá mediante un miliamperímetro o pinza amperimétrica en la escala de miliamperio en serie con la carga. La lectura debe ser tomada cerca del final del ensayo.
- La prueba de tensión será aplicada inicialmente a una tensión baja y se irá incrementando a razón de 1000 V/s hasta que el nivel de tensión del ensayo prescrito sea alcanzado o se produzca una falla.
- El periodo de prueba de 1 minuto debe iniciar desde el momento que se alcance el nivel de tensión establecida para la clase de guante. La tensión

debe aplicarse continuamente a menos que se haya producido un fallo eléctrico al final del ensayo y antes de abrir el circuito.

Los parámetros alternativos para tener en cuenta en la prueba de AC según criterio del cliente, son:

- Voltaje de ruptura (breakdown) de la prueba en AC: para guantes nuevos, a cada muestra seleccionada de acuerdo al numeral 13.2 de la norma ASTM D 120 se le dará una prueba breakdown como se especifica en el artículo 11.2 de la misma norma. La tensión en la prueba será inicialmente baja y se elevará continuamente a razón de 1000 V/s hasta que el voltaje mínimo de breakdown sea alcanzado o proceda un fracaso. La tensión máxima alcanzada observada antes del fallo será considerado como la tensión de ruptura.
- Absorción de humedad: ensayo de resistencia. Cada muestra seleccionada (de acuerdo con el numeral 13,2 de la norma), deberá ser objeto de prueba de humedad. Para esto, se coloca el guante dentro del equipo de pruebas y se dejará remojado durante 16 horas seguidas. Como alternativa, los guantes pueden ser remojados y pasar directamente a la prueba de tensión. Después del periodo de remojo se dará inicio a la prueba con un nivel de tensión y se irá incrementando gradualmente a 1000 V/s aproximadamente hasta que se alcance el nivel de tensión establecido o exista una falla.

3.2.2 Pruebas de corriente directa DC

La tensión de prueba de corriente continua, se obtiene de una fuente de alimentación de corriente continua capaz de suministrar la tensión necesaria. Al medir la tensión continua en la prueba mediante una punta de alta tensión se proporcionará el valor medio de la tensión aplicable al guante.

Para el desarrollo de la prueba en DC, a cada guante se le dará un ensayo de acuerdo a lo establecido en la sección 11.1 de la norma ASTM D 120:

- La tensión de la prueba en corriente continua, será aplicada de la misma manera que la corriente alterna pero se irá incrementando a razón de 3000 V/s.
- Prueba de ruptura (Breakdown) en DC: Las pruebas breakdown de DC se realizarán de igual manera que las prueba AC excepto por el aumento de tensión que será de 3000 V/s. Es decir, los métodos para la realización de

la prueba en AC y en DC son iguales en su procedimiento pero lo diferencia sus niveles a alcanzar y la forma de corriente que se usa.

- La prueba de resistencia al ozono si se realizara, se haría con uno de los métodos para asegurar la conformidad de los guantes tipo II con los requisitos de la norma ASTM D120 (numeral 10,3) y conforme a la norma ASTM D 1149 y usando el procedimiento de la norma ASTM D 518 para preparar la muestra o trozo del guante a inspeccionar cortado a una medida rectangular de 12*100 mm.
- Para esta prueba, se recomienda que la tensión que se mida en serie con el sistema de alta tensión con las respectivas resistencias limitadoras para este circuito y con un voltímetro electrostático de rango adecuado que pueda ser utilizado en vez de la combinación medidor-resistor. La precisión de la medición de tensión en el circuito debe estar dentro del 62% de la escala completa.

3.2.3 Requisitos eléctricos y aceptación

Adicional a la inspección de los requisitos físicos evidentes de los guantes que permitan verificar que no hay desgastes, fugas, etc., también la norma ASTM D 120 establece que para determinar las capacidades dieléctricas, se debe:

- Realizar una prueba a una frecuencia de 60Hz a cada guante, aplicando el nivel de tensión requerido durante un tiempo de un minuto. Para frecuencias de operación diferentes se deben considerar otros periodos de prueba.
- Tener en cuenta los valores de tensión y no exceder lo especificado en las tablas 2 y 3, según la clase del guante.
- Someter a los guantes y no deben dañarse con valores menores a los datos de ruptura (desglose). Si es así, dichos guantes no pueden seguir usándose en los trabajos con tensión.
- Utilizar los guantes en TCT solamente si cumplen pruebas de tensión que es superior a las de los niveles de fabricación.
- Calcular los niveles de tensión de manera directa si la frecuencia es diferente a 60 Hz, determinando esta prueba como una indicación de lo que puede suceder en el guante, la constante dieléctrica del tipo del material usado, el espesor y área de contacto en la prueba. Para el caso, la

frecuencia que se usa es la que se establece en la norma, y el tiempo se puede determinar mediante la ecuación 2:

$$t_{prueba} = \frac{f_{establecida}}{f_{prueba}} (\text{minuto}) \quad \text{Ec. (2)}$$

$$t_{prueba} = \frac{60\text{Hz}}{60\text{Hz}} 1 = 1 \text{ minuto}$$

- Cuando los guantes no cumplan con los requerimientos, serán sellados, golpeados o cortados antes de ser devueltos al proveedor indicando que no son aptos para el uso eléctrico.
- La norma establece las características técnicas del guante, y el laboratorio certificador determina el protocolo final para entregar resultados a los clientes, con forme lo estipule los organismos de acreditación.

3.2.4 Secuencia de prueba

El procedimiento sugerido para pruebas de guantes de caucho determinados por la especificación de la norma ASTM D120, el cual también fue considerado para el sistema de pruebas adoptado en este proyecto es:

- Inspección de las superficies de los guantes.
- Revisión de dimensiones físicas acordes con lo reglamentado.
- Prueba eléctrica requerida de forma obligatoria, dos veces al año.
- En AC puede realizarse con o sin absorción de humedad previa al ensayo que depende del tiempo que se cuente para el desarrollo de la prueba.
- Desarrollo de pruebas de tensión de ruptura de acuerdo con la clasificación del guante que permite determinar si los guantes alcanzan el nivel establecido para la tomar la decisión de adquirir o no un lote de guantes.
- La prueba de resistencia al ozono no fue considerada, ya que este factor se contempla con la clasificación del guante es tipo I o tipo II (resistente o no al ozono).
- Las pruebas de las propiedades físicas y químicas no se contemplan esa norma.

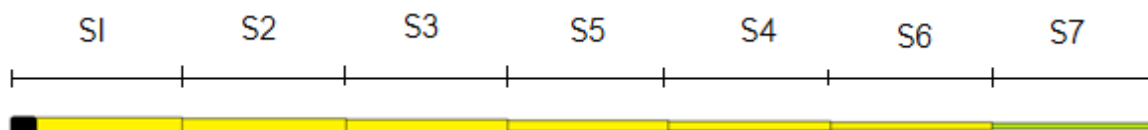
3.3 CLASIFICACIÓN DE LAS PÉRTIGAS DIELECTRICAS

Las pértigas dieléctricas o de maniobra eléctrica se utilizan para realizar tareas como apertura o cierre de seccionadores, instalación de equipos de puesta a tierra, verificación de existencia de tensión acoplándole detectores, tijeras de corte, perfiladores, entre otros. No son aptas para permanecer bajo tensión

durante períodos prolongados, son herramientas que se usan en TCT bajo la técnica a distancia, como principal referente de protección al operador para múltiples tareas a la hora de hacer trabajos de mantenimiento y ampliación del sistema, o en combinación con las demás técnicas de trabajos en línea viva.

Se define como longitud efectiva a la distancia comprendida entre el anillo límite y la parte metálica más próxima del puntero³³ (ver figura 10). La longitud total de la pértiga quedará definida en función de la aislación requerida y del alcance físico. Las pértigas deben ser de color anaranjado o amarillo y aspecto liso y brillante. La pintura es admitida únicamente como acabado superficial.

Figura 10. Pértiga telescópica de 7 secciones.



Fuente: Autor.

Las herramientas tales como pértigas, bastones entre otras son sometidas a pruebas de rigidez dieléctrica una vez al año, con el fin de garantizar su vida útil y proteger la del trabajador. Además se deben realizar pruebas de chequeo para el buen manejo de esta herramienta haciendo pruebas de inspección y notificando si existe un defecto. Es recomendable el uso de esta herramienta en condiciones de humedad nula, pero en caso de requerirse por una emergencia (lluvia o inundación) debe usarse una manija que no transfiera humedad a las manos del operario.

Las pértigas aislantes están constituidas por tubos de resina epóxica reforzado con fibra de vidrio y relleno de espuma de poliuretano. Los tubos deben cumplir con lo que se establece a sus características estructurales en la norma IEC 855 y la norma IEC 832 para el correcto funcionamiento de los elementos de maniobra. Las pértigas se clasifican en tres, telescópicas, rígidas o acoplables y tipo escopeta o de gancho retráctil. Todas las pértigas deben tener un elemento o dispositivo de fijación (cabezal) donde se sujetarán los accesorios para la realización de los trabajos. Las dimensiones de las pértigas comerciales, se prueban hasta 75 kV y tienen una longitud máxima de 12,2m que es la pértiga telescópica de 8 secciones.

³³EMDESA. Obtenido de <http://www.emdesa.com.ar/productos.htm> consultado el 10 de Abril de 2016

3.3.1 Pértigas telescópicas

Mostradas en la figura 11, se caracterizan por tener tubos aislantes acoplados entre sí, por un mecanismo de botón o resorte u otro mecanismo que asegura los tubos. La última sección debe tener un color fluorescente y diferente al resto, además de poseer un cabezal que permita la sujeción de los accesorios. Estas pértigas tienen diferentes tamaños al ser extendidas y su longitud depende de la cantidad de tramos que compongan la misma como se muestra en la tabla 6³⁴.

Cada sección puede accionarse independiente y automáticamente permitiendo un fácil armado y desarmado. Deben ser fáciles de limpiar debido a su sección lisa y brillante y deben almacenarse de forma horizontal en el suelo sin humedad y en estuches capaces de protegerlas del ambiente exterior.

Figura 11. Pértiga telescópica



Fuente: Empresa Promelsa³⁵

Tabla 6. Tamaños de Pértigas telescópicas

Número de secciones	Longitud extendida [m]	Longitud replegada [m]
4	5.0	1.53
5	6.4	1.58
6	7.8	1.63
7	9.2	1.68
8	10.6	1.61
9	12.2	1.65

Fuente: HUBBEL Chance

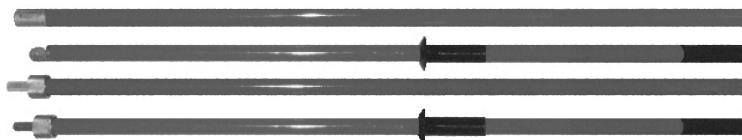
³⁴ HUBBEL chance, distribuidora de pértigas, disponible en: <http://www.hubbellpowersystems.com/catalogs/lineman/es/2100Spanish.pdf>. Consultado el 06 de Enero del 2016

³⁵ Promelsa que vende y distribuye pértigas. Disponible en http://www.promelsa.com.pe/productos_list.asp?id_linea=009&id_sublinea=9&id_familia=03&saldo_s=&pm_list=L. Consultado el 06 de Enero del 2016

3.3.2 Pértigas rígidas

Son conocidas también como pértigas acoplables (ver figura 12) que consta de un solo tramo pero que puede unirse con tramos extra. Si bien se pueden proveer de cualquier longitud, las comerciales son: 0.7 m, 1 m, 1.5 m, 2 m, 2.5 m, y 3 m.

Figura 12. Pértiga rígida

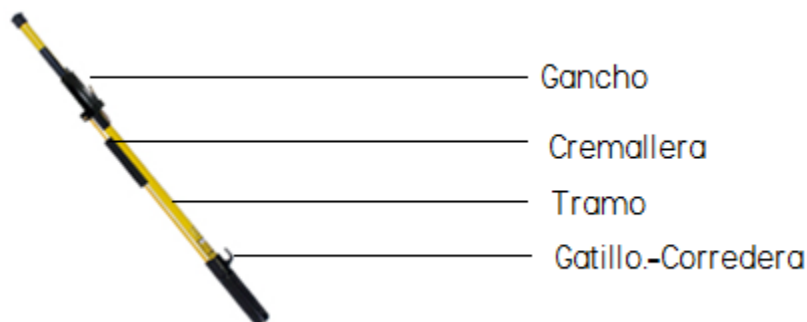


Fuente: empresa Emdesa³⁶

3.3.3 Pértigas tipo escopeta o de gancho retráctil

Son usadas para la instalación y desmontaje de elementos que tengan un agujero u ojal, además se usan para maniobrar de forma sencilla el desplazamiento de piezas (ver figura 13). Se construyen en un solo tramo de longitudes variables en función del alcance físico y tensión de servicio. La apertura y cierre del gancho se realiza a través de una varilla maciza de material sintético reforzado con fibra de vidrio. El gancho, la cremallera y los gatillos se construyen en latón, y la corredera en aluminio. Estas pértigas están diseñadas para una tensión de servicio de hasta 33 kV. Las especificaciones se muestran en la tabla 7.

Figura 13. Pértiga tipo escopeta



Fuente: <http://www.hubbellpowersystems.com/catalogs/lineman/es/2100Spanish.pdf>

³⁶ Empresa Emdesa, disponible en <http://www.emdesa.com.ar/pertigas.htm> , consultado el 06 de Enero del 2016

Tabla 7. Dimensiones comerciales de pértigas tipo escopeta

Longitud [m]	Tubo diámetro [mm]	Peso aprox [kg]
1.5	32	1.75
1.8	32	1.85
2.0	32	2.00
2.5	32	2.25

Fuente: HUBBEL Chance³⁷

3.4 PRUEBA DE VOLTAJE SOSTENIDO EN PÉRTIGAS

Los ensayos a pértigas, se basan en las normas IEEE 978 de 1984 con el fin de aplicar de forma correcta la guía para servicio mantenimiento y pruebas eléctricas de las herramientas de línea viva, donde se estipulan las principales características que poseen estos elementos. La norma ASTM F 711, para pértigas “Especificación estándar para Fibra de vidrio - plástico reforzado (FRP) barra y tubo utilizado en herramientas de línea” para la observación de las características técnicas que deben tener, además de las especificaciones técnicas 01.20/0 para pértigas telescópicas y 01.19/0 para pértigas de maniobra para MT que permiten determinar las principales cualidades estructurales. Las normas IEC 855 de 1985, IEC 832 de 1988, IEC 410 de 1973³⁸ permiten definir un procedimiento para la realización de las pruebas sin alterar su forma y sus propiedades.

La prueba de voltaje sostenido consiste en generar un nivel de tensión de manera controlada a partir de los electrodos del transformador a los dos tubos conductores que estarán anclados en el mismo lugar donde está soportada la pértiga, la cual se someterá a una diferencia de tensión en puntos cercanos y según la norma IEEE 978 de 1984 se establece que sean hasta 75 kV, los que entregue el transformador en dos puntos a una distancia de 30 cm entre ellos.

La tensión de prueba se puede ir incrementando o puede cambiar de manera instantánea o súbita de modo que no afecte las propiedades físicas de los elementos que constituyen la pértiga, debido a que estas herramientas son para trabajos que no sean prolongados. Los tubos conductores permiten el paso de la energía a las pértigas por medio de cadenas que sujetan a la pértiga con resortes como se muestra en la figura 14 y se estipula en la norma IEEE 978 de 1984 y ASTM F 711.

³⁷ HUBBEL Chance, distribuidora de pértigas, disponible en:

<http://www.hubbellpowersystems.com/catalogs/lineman/es/2100Spanish.pdf>. Consultado el 06 de Enero del 2016

³⁸ Ibíd. Página 30.

Estos valores de tensión son únicamente para equipos de corriente alterna (AC). Para realizar la prueba con corriente continua (CC) los niveles son superiores. Los ensayos de tipo, contemplan la prueba dieléctrica, mediante las normas IEC 855³⁹, y en IEC 832 donde se estipulan los materiales que se usan para la construcción de la pértiga y por ende las propiedades dieléctricas que poseen.

Figura 14. Soporte y anclaje de pértigas y terminales conductoras.



Fuente: Autor

3.4.1 Rechazo y muestreo

Cada pértiga de un lote o envío será sometida a una prueba de inspección, para que cumpla los requerimientos técnicos tales como visualización de componentes, determinación de grietas, imperfecciones, descomposición evidente del material entre otros. Una muestra original debe ser probada en mínimo una pértiga que será seleccionada al azar para cumplir con los requisitos. Las pértigas que se someterán a pruebas dieléctricas, deben estar en perfecto físico y mecánico, además de estar empacadas en fundas o embaladas en el caso de ser nuevas. Si existen irregularidades o si se presenta fallas en un 5 % de las pruebas realizadas a un lote completo, las pértigas serán rechazadas. El laboratorio debe informar al

³⁹ IEC 855 Normatividad para tubos dieléctricos en fibra de vidrio, disponible en <http://www.iec.ch/standardsdev/publications/>, consultado el 6 de Febrero del 2016

dueño de la herramienta el estado de la misma, dar un informe y en caso de falla destruir la pértiga.

3.4.2 Secuencia de prueba y requisitos eléctricos

La pértiga va a estar sometida a la prueba, por segmentos de distancia divididos por resortes. Cada segmento incluye completamente la zona adyacente. Para el ensayo se inicia con una secuencia de prueba y requisitos eléctricos se realizan de la siguiente manera según la norma IEEE978 de 1984:

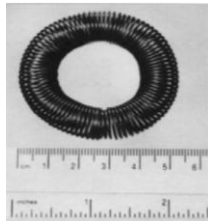
- Suspender la pértiga de manera horizontal en soportes que se encuentren a una distancia no menor a 4 pies (122 cm aprox.).
- La línea de alta tensión debe estar lejos de la tierra para que no se introduzcan efectos capacitivos y de esta manera la corriente de fuga sea mínima.
- Los resortes (ver figuras 15 y 16) que unen los electrodos con la pértiga deben tomar la herramienta y rodearla completamente.
- Colocar la cadena dentro del resorte para que la tensión se extienda por los muelles del resorte y hacer contacto de manera uniforme.
- Si se quiere medir la corriente de fuga, rociar con agua sobre la pértiga con un aplicador de pulverización (spray) de manera controlada, sin inundar el área a probar.
- Aumentar la tensión a razón de 3000 V/s y al alcanzar la tensión deseada de 75 kV/30 cm y permitir el paso de energía.
- Si la corriente sigue aumentando, se debe detener la prueba, limpiar la pértiga, repetir la prueba, pero si persiste la falla, la pértiga debe ser cambiada.

Figura 15. Resorte helicoidal para pruebas de rigidez dieléctrica



Fuente: Autor

Figura 16. Helical Spring Electrode for In-Service Electrical Testing



Fuente: Norma IEEE 978 de 1984

El rango de corriente de fuga para una pértiga nueva con 75 kV/30cm debe estar en 5 μ Ay 25 μ A. Las lecturas se deben efectuar cuando la superficie está limpia para una buena obtención de datos, para esto se debe limpiar o barnizar según lo indique el fabricante. Para determinar las características principales al momento de realizar una prueba de rigidez dieléctrica es preciso tener en cuenta las dimensiones del cableado, resortes, cadenas y demás implementos usados como se ilustra en OSHA 1926.951 (D) 1974⁴⁰.

Para el óptimo desarrollo de las pruebas, es preciso determinar algunos parámetros que permiten que las pértigas estén en buen estado como:

- Las herramientas deben almacenarse en un lugar seco, limpio y libre de contaminantes.
- Con relación a la ubicación de las pértigas en el almacenamiento, estas deben estar debidamente soportadas por una estructura de anclaje fijo y de forma horizontal para evitar deformaciones.
- Al ser transportadas las pértigas, deben estar libres de peso por encima de las mismas.
- Se someterán a una inspección visual cada vez que se vayan a usar para asegurarse de que se encuentren en condiciones aptas para el trabajo.
- Cuando se realicen ensayos de aislamiento, las pértigas deben estar completamente limpias y libres de abrasión para que no se afecten los resultados.
- No utilizar paños que han sido lavados en solventes agresivos, ya que algunos residuos en la tela puede ser depositados en la superficie de la herramienta.

⁴⁰ OSHA 1926.951 (D) 1974

4. DISEÑO Y CONTRUCCIÓN DEL SISTEMA DE PRUEBAS DIELECTRICAS PARA GUANTES Y PÉRTIGAS

En este capítulo se indica el diseño e implementación de un sistema de pruebas a guantes y pértigas, a partir de la clasificación y pruebas normativas analizadas en el capítulo anterior así como la definición y construcción de los elementos de control y potencia.

El sistema propuesto consiste en la aplicación de la técnica de voltaje sostenido a guantes y a pértigas hasta 15 kV en AC, que permite desarrollar pruebas de aceptación de la continuidad del uso de guantes o pértigas para generar un concepto de aprobación o rechazo de los elementos a probar determinando si el aislamiento del elemento se encuentra en condiciones óptimas para el desarrollo de tareas en TCT. Este sistema se convierte en un primer aporte para un laboratorio de certificación de la UPTC, con la oferta de pruebas dieléctricas a entidades públicas y privadas relacionadas con trabajos en línea viva.

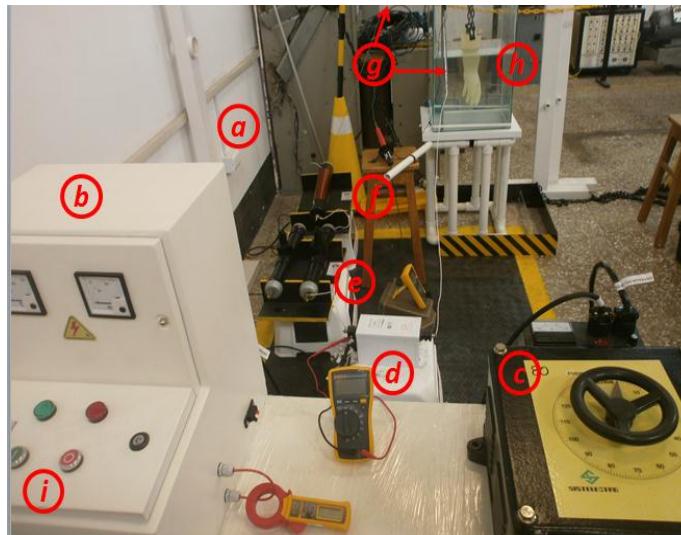
4.1 SISTEMA DISEÑADO PARA PRUEBAS DIELECTRICAS.

Con el fin de determinar si el aislamiento de los elementos de seguridad es óptimo en TCT, se propone un equipamiento para realizar pruebas según el sistema descrito en la figura 17, que está compuesto por:

- a. Una conexión a la red eléctrica monofásica 120 Vrms.
- b. Un tablero de control
- c. Un variac monofásico; que permite cambios controlados de la tensión de prueba.
- d. Un transformador elevador de voltaje: capaz de suministrar la tensión correspondiente a los tipos de elementos teniendo en cuenta la clasificación de los mismos.
- e. Una resistencia limitadora para manejar las sobretensiones o sobrecorrientes generadas si el guante es perforado.
- f. Una bobina de inducción para regular y disminuir armónicos, transitorios ni agentes eléctricos que alteren la red que suministra la energía eléctrica.

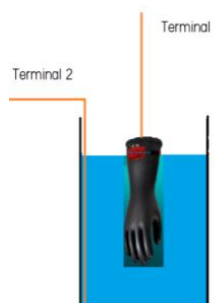
- g. El soporte para elementos a ensayar, cerrando el circuito mediante los terminales 1 y 2 como electrodos que permiten el paso de corriente a los elementos a probar.
- h. Para el caso de pruebas de guantes el soporte de prueba está compuesto por una cubeta de pruebas que permita sumergir en agua el elemento de prueba (ver figura 18). Para las pruebas en pértigas, los electrodos difieren en la conexión de las terminales 1 y 2 que van a los tubos conductores que se encuentran anclados a los soportes y conexión por resorte contruidos según la normatividad (ver figura 19).
- i. Adicionalmente, en el sistema de pruebas, se establece unas consideraciones técnicas con el fin de garantizar un ensayo eficaz y seguro, lo cual se contempló en el tablero de control que energizar o desenergizar el circuito de pruebas, teniendo en cuenta los niveles de corriente que pueden presentarse en condiciones normales o de falla.

Figura 17. Foto general del sistema.



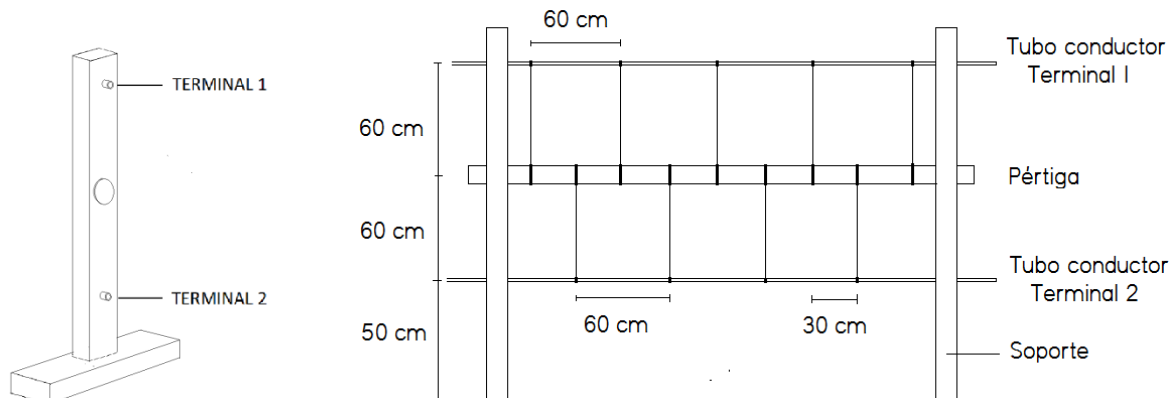
Fuente: Autor

Figura 18. Cubeta de pruebas



Fuente: Autor.

Figura 19. Soporte para pértigas



Fuente: Autor

Además del equipamiento de pruebas, se elaboró un sistema de gestión de resultados para documentar los ensayos, fijando los niveles de tensión que se usan dependiendo del objeto que vaya a ser sometido a pruebas y que permita generar un reporte.

Para la seguridad de los operarios del sistema de prueba, se implementó una señalización visible de la zona de trabajo (ver figura 20), así como implementos utilizados para realizar los ensayos lo que implica la capacitación adecuada para el uso de los elementos requeridos. En el tablero de control, una señal luminosa indica cuando el sistema está energizado y otra cuando se inicia la aplicación de tensión.

Figura 20. Señalización de área de trabajo e implementos a usar.

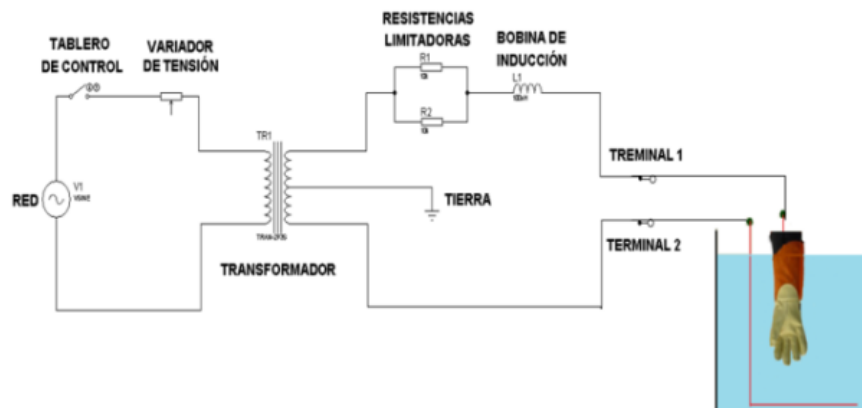


Fuente: Autor

4.2 DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE COMPONENTES

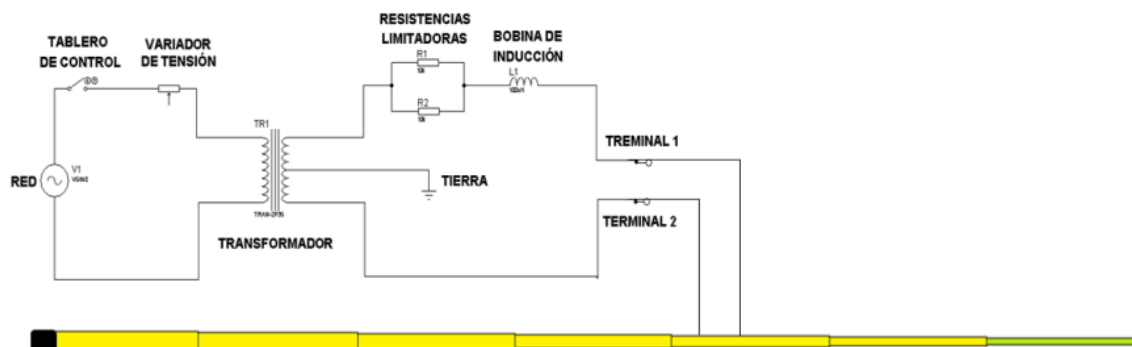
Se determinaron las características de los componentes requeridos, su disponibilidad en el mercado y el presupuesto disponible para la realización de este proyecto. Tanto para las pruebas a guantes como a pértigas el circuito de pruebas de alta tensión (AT), requiere de los siguientes elementos: tablero de control, variac, transformador elevador, resistencias limitadoras, reactancia inductiva y soportes. Los componentes del sistema responden a la configuración de un circuito RL al lado de alta tensión del transformador, tal como se muestra en las figuras 21y 22.

Figura 21. Esquema de pruebas. Guantes.



Fuente: Autor

Figura 22. Esquema de pruebas. Pértigas.



Fuente: Autor

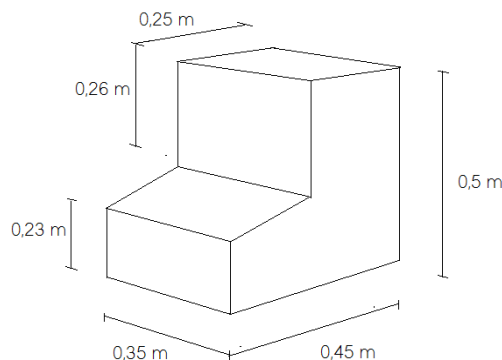
4.2.1 Tablero de control

El tablero de control permite el proceso de energizar y desenergizar la prueba en el lado de baja tensión del transformador elevador. Tanto el circuito de potencia como el de control, disponen de las protecciones necesarias para desenergizar de forma inmediata ambos circuitos. Los elementos del gabinete de control son:

- Breaker de 3A (Circuito de potencia) y Breaker de 1A (Circuito de control)
- Contactor del circuito de potencia.
- Portafusible y fusible industrial de 2 A.
- Pulsadores de marcha y parada.
- Pilotos de señalización.
- Transformador de tensión y Transformador de corriente.

El gabinete de control se diseñó con los principios de ergonomía y fácil manejo para energizar y desenergizar el circuito de prueba, además dispone de un espacio para ubicar el voltímetro y la pinza amperimétrica de corriente de fuga por el lado de baja tensión del transformador elevador. Dispone de una zona para la ubicación y manejo del variac. Las dimensiones del tablero construido se presentan en las figuras 23 y 24. El plano de conexión y el circuito de control y potencia se presentan en el Anexo A. La tensión que muestra el voltímetro del panel frontal es de 240V, se determina al medir el voltaje en baja tensión y de esta manera el voltaje en alta tensión se obtiene al multiplicar el valor medido por la relación de transformación. Se recomienda medir la tensión directamente en el lado de AT, al lado del objeto de prueba, ya que el efecto capacitivo entre el agua, el material aislante y los electrodos de prueba, producen un incremento en la tensión. Esta medición se puede realizar empleando una punta de alta tensión, un transformador de potencial o realizando una proyección del voltaje cuando los rangos son excedidos.

Figura 23. Características gabinete de control



Fuente: Autor

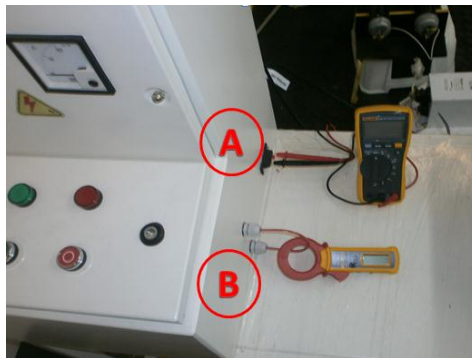
Figura 24. Tablero de control construido



Fuente. Autor

Los valores de tensión y corriente son medidos en BT como se indica en la figura 25, al lado derecho del tablero de control, empleando una pinza amperimétrica y un voltímetro en los puntos A y B predeterminados para esta función. Ya que las corrientes de fuga son muy pequeñas, el amperímetro análogo del panel frontal de gabinete, se encuentra en rango de 0-5 A, y considerando que las corrientes de fuga son del orden de mA o μ A, este equipo sólo indicará medición en caso de ocurrir una falla.

Figura 25. Puntos de medición en BT

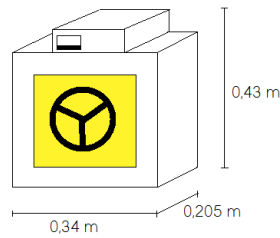


Fuente: Autor

4.2.2 Variador de tensión alterna (Variac)

Este dispositivo cumple con la función de suministrar tensión de forma gradual, variable y controlada al devanado en el lado de BT del transformador elevador. Se empleó un variac monofásico de 10A, de 0 a 140V, cuyas características físicas y técnicas se presentan en las figuras 26 y 27. Su principio de funcionamiento se basa en un autotransformador operado manualmente. El sentido de giro es horario para aumentar la tensión por lo que antes de energizar el sistema debe estar en 0V, es decir completamente a la izquierda.

Figura 26. Características técnicas variac.



Fuente. Autor

Figura 27. Variac de 0 a 140 Voltios. 10 A



Fuente. Autor

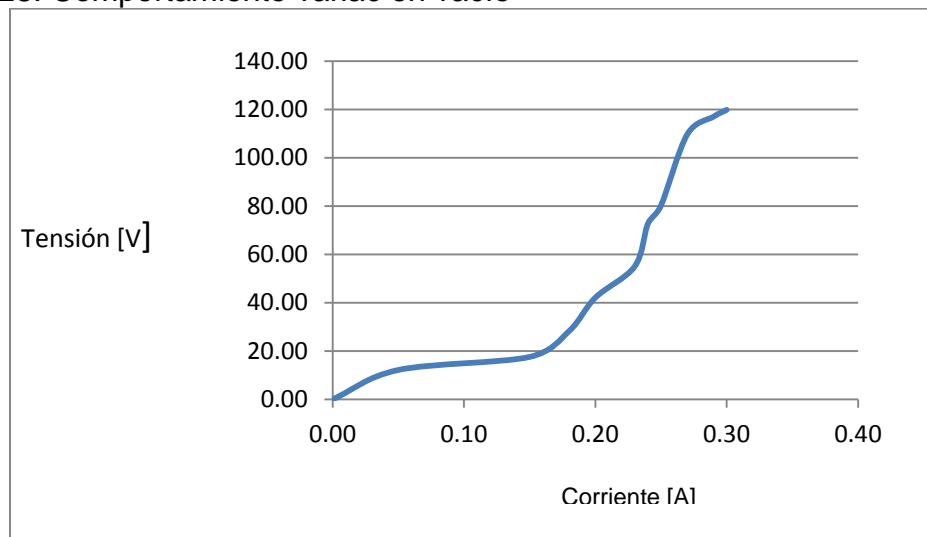
Para determinar las condiciones de operación del variac y sus características de funcionamiento se realizó una prueba de energización en vacío. Los resultados se presentan en la tabla 8 y figura 28. La corriente medida se debe a la corriente de magnetización consumida por el variac.

Tabla 8. Comportamiento variac en vacío

Tensión [V]	Corriente de vacío [A]
0,00	0,00
6,20	0,02
12,15	0,05
15,70	0,10
17,56	0,15
28,24	0,18
42,10	0,20
55,03	0,23
72,67	0,24
80,27	0,25
109,70	0,27
117,00	0,29
119,80	0,30

Fuente: Autor

Figura 28. Comportamiento variac en vacío



Fuente: Autor

4.2.3 Transformador elevador

Es el encargado de subir el nivel de tensión en el lado de AT, reduciendo la corriente debido a la relación de transformación y conservando la potencia. La generación de tensión para la realización de pruebas a elementos de seguridad y protección personal en TCT, requiere de un transformador que entregue un nivel de tensión mayor a 160 kV. Los transformadores tienen un alto costo en el mercado, manejando precios que oscilan alrededor de \$US 50000⁴¹, monto que no fue disponible obtener para cubrir el presente proyecto. Además, otros factores como la altura sobre el nivel del mar son determinantes para la puesta a punto del transformador ya que sus componentes internos y el aislamiento tienen un comportamiento garantizado por el fabricante en función de la altura. A partir de los 1000msnm, el transformador disminuye su aislamiento en 1% por cada 100m de elevación afectando sus componentes y disminuyendo de manera significativa el porcentaje de la tensión de salida para su correcto funcionamiento. Para el caso específico de la ubicación en Duitama, Boyacá (2530m sobre el nivel del mar) se dispone del 84% del voltaje de salida nominal.

Para el desarrollo de este proyecto, se usó un transformador elevador empleado en lámparas de neón, de 15kV, reduciendo su capacidad a 12.6 kV (15kVx0.84)

⁴¹ Cotización recibida para el proyecto “EVALUACIÓN DEL ESTADO DE GUANTES Y PÉRTIGAS DIELECTRICAS EMPLEADOS PARA TRABAJOS EN REDES ENERGIZADAS DE LA EMPRESA DE ENERGÍA DE BOYACÁ” SGI 1744, a través de la participación en la convocatoria de la Dirección de Investigaciones DIN capital semilla 2015

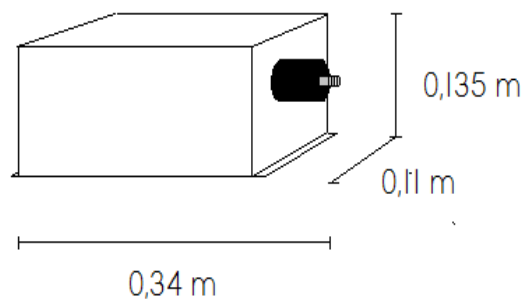
por corrección de altura. Esta tensión permite hacer pruebas guantes clase 00, 0 y 1. Para las clases 2, 3 y 4 se requiere un transformador de 50 kV.

En las figuras 29 y 30 se muestran las características técnicas y físicas del transformador elevador utilizado, considerando niveles máximos de 120V, 3,75A, 450VA en el lado de baja y 15000V, 30mA en el lado de alta a una frecuencia de 60 Hz. Los niveles de tensión que aparecen en el lado de alta dependen de la relación de transformación (a) que puede calcularse de la siguiente manera:

$$a = \frac{N_i}{N_o} = \frac{V_i}{V_o} = \frac{I_o}{I_i} \quad \text{Ec. (3)}$$

$$a = \frac{N_i}{N_o} = \frac{15000V}{120V} = \frac{3,75}{0,03} = 125$$

Figura 29. Características del transformador elevador por lámpara de Neón



Fuente: Autor

Figura 30. Transformador para lámpara de neón.

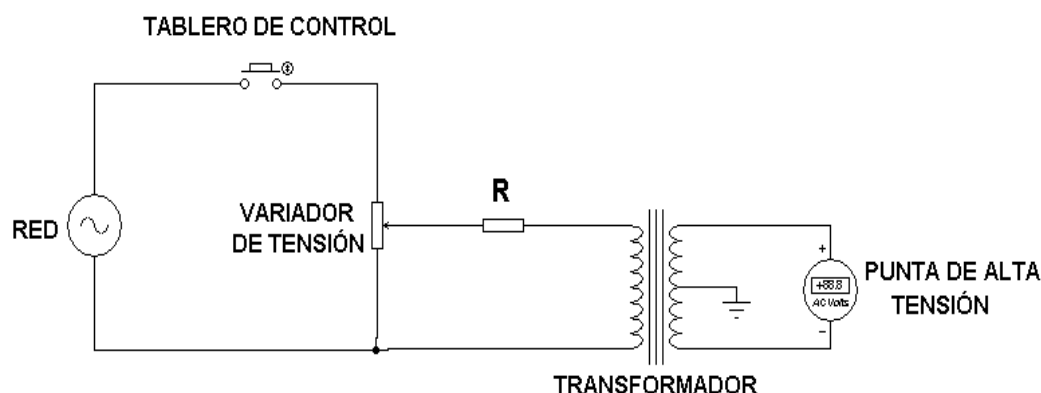


Fuente: Autor

Para verificar el correcto funcionamiento del transformador, se realizó la energización en vacío. Seguidamente se instalaron resistencias limitadoras por el

lado de baja tensión y se energizó nuevamente. El circuito de pruebas para el transformador se ilustra en la figura 31.

Figura 31. Circuito prueba de transformador



Fuente: Autor

Prueba transformador en vacío con R limitadora por BT

Empleando el método de los dos voltímetros, se calculó la relación de transformación, dando como resultado 125:1 cuando se obtiene un voltaje en el secundario similar al voltaje nominal para el cual fue fabricado el transformador; se pudo establecer un voltaje máximo de salida de 12600V con un voltaje máximo de entrada al transformador de 109V, valor que debe ser considerado como el límite en la manipulación del variac por el operario del sistema de pruebas. La potencia máxima en el lado de baja es de 58 VA. Los datos de esta prueba se presentan en la tabla 9.

Tabla 9. Transformador en vacío

Corriente	Voltaje en Baja tensión [Vrms]	Alta tensión con R= 0 [Vrms]	Alta tensión con R= 5 [Vrms]	Alta tensión con R= 20 [Vrms]	Relación de Transformación	% de error en relación de transformación
0.21	0.3	21.9	18	17.3	73	41.6
0.21	3.3	253	245	240	76.67	38.67
0.21	4.94	392	386	380	79.35	36.52
0.21	10.04	820	800	790	81.67	34.66
0.22	15.04	1230	1220	1210	81.78	34.57
0.22	19.57	1690	1660	1640	86.36	30.91
0.22	25.06	2340	2192	2150	93.38	25.3

Corriente	Voltaje en Baja tensión [Vrms]	Alta tensión con R= 0 [Vrms]	Alta tensión con R= 5 [Vrms]	Alta tensión con R= 20 [Vrms]	Relación de Transformación	% de error en relación de transformación
0.26	49.77	5470	5132	5100	109.91	12.08
0.27	55.38	6180	5900	5820	111.59	10.73
0.28	59.68	6770	6538	6470	113.44	9.25
0.29	65.86	7530	7200	7070	114.33	8.53
0.3	69.9	8060	7890	7660	115.31	7.75
0.32	75.8	8780	8350	8310	115.83	7.34
0.34	80.9	9230	8870	8820	114.09	8.73
0.36	85.5	9771	9620	9560	114.28	8.58
0.39	90.3	10270	10200	10180	113.73	9.01
0.42	95.6	11010	10925	10750	115.17	7.87
0.45	100.6	11600	11480	11350	115.31	7.75
0.49	104.9	12400	11950	11820	118.21	5.43
0.53	109.52	12600	12490	12420	115.05	7.96

Fuente: Autor

El dato de la corriente muestra el consumo del variac y el transformador elevador. Cuando se mida la corriente de fuga en las pruebas, es necesario descontar este valor de corriente de vacío del variac y del transformador elevador. La relación de transformación presenta una desviación con niveles de tensión bajos, pero se van disminuyendo al momento de subir el voltaje. De acuerdo a lo anterior, se recomienda medir la tensión de prueba directamente en el lado de AT.

La caída de tensión en la resistencia es muy baja y de esta manera no afecta la medición de los valores del lado de alta del transformador elevador y permite proteger el circuito de BT. Además se observó que la resistencia no causa efectos negativos para la medición de corriente pues los datos son muy similares a los resultados sin resistencia, pero garantiza que el paso de corriente se limite y proteja al sistema. Hay una pequeña caída de tensión que requiere aplicar a la salida del variac el 5.2% de más.

4.2.4 Resistencias limitadoras por el lado de AT

Se construyó una resistencia limitadora como elemento de protección en el lado de alta tensión en caso de existir un fallo en el objeto bajo prueba previniendo un corto circuito entre los terminales 1 y 2 del circuito (ver figura 21) que generaría una sobre corriente al transformador elevador por los esfuerzos electrodinámicos de corto circuito en los devanados, poniendo en riesgo los instrumentos de medición. Sin embargo, en un funcionamiento normal del circuito la caída de tensión en este elemento es casi despreciable ya que se puede ver como un circuito abierto debido al aislamiento del elemento sujeto a pruebas. Por tanto no se consideró la construcción de una resistencia de alambre bobinado debido a los efectos de calentamiento y disipación excesiva de potencia que pudieran

presentar; sino que se fabricó una resistencia de agua empleando un tubo de PVC disponible comercialmente, con tapas metálicas en sus extremos para realizar las conexiones al circuito, variando gradualmente el agua mineral y del grifo para encontrar la resistencia adecuada.

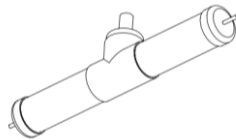
El valor total de la resistencia limitadora se calculó considerando las máximas corrientes en el lado de alta tensión del transformador de 30mA y en caso de ser la única carga significativa en el circuito manifestaría una disipación de potencia de 450VA, así:

$$R = \frac{450VA}{0.03 A^2} = 500000\Omega$$

Gracias a la conductividad del agua utilizada para la fabricación de la resistencia se garantiza una caída de tensión despreciable en condiciones normales de operación provocado por el aislamiento del elemento de prueba. En caso de existir una falla en el objeto de prueba, la resistencia limita la corriente en el circuito de alta tensión mientras opera el breaker y desenergiza la fuente.

Para el proyecto se construyó un arreglo en paralelo de dos resistencias de 1000kΩ cada una. Con las características físicas presentadas en las figuras 32 y 33.

Figura 32. Características de las resistencias.



Fuente: Autor

Figura 33. Resistencias limitadoras



Fuente: Autor

4.2.5 Reactancia limitadora

Debido a los cambios bruscos de corriente que se presentan en una falla del elemento de pruebas, se decidió colocar una impedancia que amortigüe este fenómeno y de esta manera proteja los elementos del sistema y no afecte los aparatos que están conectados a la red. La bobina fue construida con alambre de cobre calibre 24 AWG⁴². La potencia de disipación, el diámetro del tubo y del alambre permiten determinar la longitud de la bobina. Para que la bobina trabaje de manera correcta es importante tener en cuenta la relación de altura de la bobina con respecto a su diámetro (H:D) de 3 a 5. Además se sabe que la inductancia de una bobina crece proporcionalmente a la forma geométrica y directamente proporcional al cuadrado del número de espiras. Por lo que se deben calcular de manera correcta sus parámetros⁴³. Para conocer la inductancia del secundario, se usó la fórmula de Wheeler⁴⁴ en la cual se diseña la bobina para sistema métrico:

$$L = \frac{R^2 * N^2}{2540 * (9R + 10H)} \quad \text{Ec.(4)}$$

$$L = \frac{5.08^2 * 705.47^2}{2540 * (9(5.08) + 400)} = 11.3445mH$$

Dónde:

L. inductancia de la bobina (mH).

R. radio (cm).

H. altura (cm).

N. número de vueltas del bobinado.

N se halla sabiendo la altura de la bobina o longitud del bobinado que va a ser implementada sobre el calibre del conductor a usar:

$$N = \frac{\text{altura del bobinado}}{\text{calibre del conductor}} \quad \text{Ec.(5)}$$

$$N = \frac{40}{0.0567} = 705.47 \text{ vueltas}$$

⁴² PÉREZ, Eduardo y MIQUÉLEZ, Vicente. Diseño y construcción de una bobina. Escuela Técnica Superior de Ingenieros Industriales y de Telecomunicación. Pamplona. 19 de febrero 2010. p 8.

⁴³ S.P, Londoño. En: Diseño de un prototipo de bobina de tesla con tensión de operación pico de 280kV. Universidad Francisco José Caldas, Bogotá - Colombia.

⁴⁴ HURTADO ROMERO, Danny Fabián y VILLAMAR ERAS, Fabricio Eduardo. Diseño y construcción de una bobina de tesla de 15 kV en el primario para el laboratorio de alta tensión de la Universidad Politécnica salesiana Sede Cuenca. Cuenca. Abril de 2014. p. 31.

Las ecuaciones de Medhurst⁴⁵ permiten determinar la capacitancia de fuga que determina cambios en la impedancia del circuito:

$$C_{parasita} = K * D \quad \text{Ec.(6)}$$

$$K = 0.100976 \frac{H}{D} + 0.30963 \quad \text{Ec.(7)}$$

$$K = 0.707$$

Dónde:

C parasita: capacitancia parasita (pF).

D: diámetro del tubo (cm).

K: constante para relacionar altura y diámetro de la bobina secundaria.

H: altura de la bobina (cm).

Es importante conocer este parámetro, ya que indica la cantidad necesaria de conductor para hacer el bobinado secundario, con:

$$\begin{aligned} Longitud &= 2\pi * R * N \\ Longitud &= 225.18m \end{aligned} \quad \text{Ec.(8)}$$

Dónde:

R: radio (m)

N: número de vueltas encontradas teóricamente.

Resultando una inductancia de 11.3445mH, construida con 225.18m de alambre AWG calibre 24 y enrollada con 705.47 espiras en 40 cm de tubo de 4 pulgadas de diámetro de PVC. Recubierta con royal pox para sellar el aislamiento y no permitir la salida de la energía al ambiente ni a otros dispositivos (ver figura 34).

Figura 34. Construcción bobina

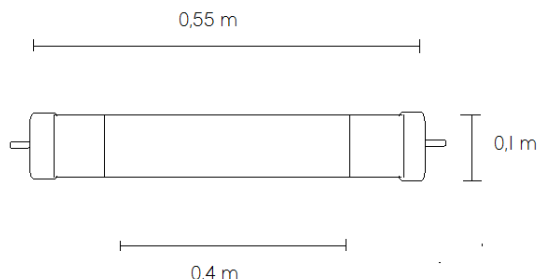


Fuente: Autor

⁴⁵ PÉREZ. Op. cit., p 20

Para la bobina se usó papel de fibra con el fin de aislar el plástico PVC del tubo y no incurrir en corrientes parásitas. Las características de la bobina construida se presentan en las figuras 35 y 36.

Figura 35. Características de la bobina.



Fuente: Autor

Figura 36. Reactancia limitadora o Bobina



Fuente: Autor

4.2.6 Soporte para ensayos a guantes: cubeta de pruebas

Corresponde a un recipiente usado en el sistema de pruebas a guantes con dos funciones: para almacenar el agua en la cual se sumergirá el guante y para ubicar los terminales 1 y 2 con los que se cierra el circuito en el lado de alta. La cubeta fue construida en vidrio considerando sus características eléctricas y mecánicas (ver tabla 10) que le permiten soportar altos niveles de tensión y pudo usarse como elemento aislante entre el sistema de prueba y el operador.

Tabla 10. Propiedades mecánicas del vidrio

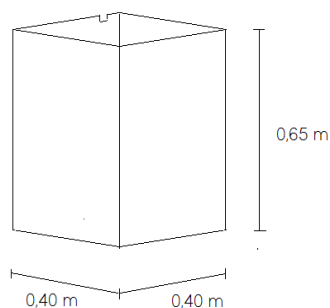
PROPIEDADES MECANICAS A 23°C	UNIDAD	VALORES
DENSIDAD	Kg/cm ³	25
RESIST. A LA TRACC.(FLUENCIA / ROTURA)	Kg/cm ²	4
RES. A LA COMPRESION (1 Y 2 % DEF)	Kg/cm ²	10
RESISTENCIA A LA FLEXION	Kg/cm ²	4

Fuente: Propiedades mecánicas del vidrio. Disponible en

<http://seltametiere.blogspot.com.co/2013/04/propiedades-mecanicas-del-vidrio.html>. Consultado el 14 de Abril del 2016

Las características físicas de la cubeta construida se presentan en las figuras 37 a 40 con una capacidad de $0.104m^3$ y un peso máximo de 115kg. Está compuesta por una tapa móvil que sostiene el guante y está aislada. Permitiendo la conexión del terminal 1 del circuito; además contiene una lámina metálica conectada a un electrodo como terminal 2 permitiendo una distribución uniforme de la energía en el agua contenida. Las dimensiones y materiales contenidos para su fabricación soportan la fuerza que ejerce el fluido que va a contener y no altera las propiedades químicas de los materiales a probar.

Figura 37. Características de cubeta de pruebas.



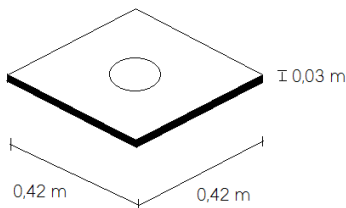
Fuente: Autor

Figura 38. Cubeta de pruebas o ensayos.



Fuente: Autor

Figura 39. Características de la tapa.



Fuente: Autor

Figura 40. Tapa de la cubeta de pruebas



Fuente: Autor

La presión soportada por la cubeta de pruebas se reparte de manera uniforme en todas las paredes y el fondo. Sobre las paredes, la presión depende de la altura del líquido desde el nivel superior hasta el fondo, de la presión atmosférica y de la densidad del agua. Para el caso de la cubeta construida se consideró la fuerza ejercida por el agua de la siguiente manera:

$$F = d \left(\frac{Kg}{m^3} \right) h(m) A(m^2) g \left(\frac{m}{s^2} \right) \quad \text{Ec(9)}$$

$$F = 1000(9.81)(0.16)(h)[N]$$

La presión máxima va a estar presente cuando la cubeta de pruebas se encuentre completamente llena, es decir a una altura de 0.65 metros, lo que implicó una fuerza de 1020.24N. Para calcular la presión en toda la cubeta se consideró:

$$P = \frac{F}{A} = \frac{1020.24 \text{ N}}{0.16 \text{ m}^2} \quad \text{Ec(10)}$$

$$P = 6376.5 \text{ Pa} = 6.37 \text{ kPa}$$

Donde:

P; Presión [N/m²] ó [Pa]

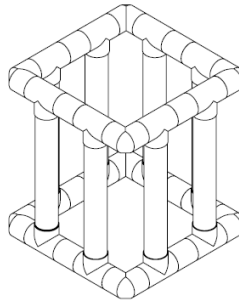
F; Fuerza [N]

A; Área [m²]

La presión máxima en todas las paredes está dentro de las propiedades que soporta el vidrio, sin embargo es lógico decir que si se produce una falla, tiene que ser en las zonas donde están pegadas con silicona. Por tanto el material que se escogido para la cubeta es óptimo para retener el fluido en cuestión.

Adicionalmente se construyó una mesa dieléctrica para soportar la cubeta evitando además la circulación de corrientes de fuga tal como se muestra en las figuras 41 y 42. Lo cual requirió fabricar una estructura aislante con tubos, tés y codos de PVC que soportarán un peso de 400kg.

Figura 41. Características mesa dieléctrica.



Fuente: Autor

Figura 42. Mesa dieléctrica



Fuente: Autor

4.2.7 Soporte para ensayos a pértigas: estructura de soporte

Se realizó la construcción de tres soportes con longitudes y tamaños iguales para suspender las pértigas y anclar los tubos conductores y permitir pruebas en pértigas telescópicas totalmente extendidas. En el sistema propuesto, los terminales 1 y 2 se conectan directamente a los tubos conductores anclados en los soportes que permiten una distribución de energía eléctrica uniforme por todos los puntos de contacto en la pértiga. Adicionalmente, en la construcción de los soportes se consideró que:

- Los soportes debían ser livianos y portables para acomodarse a las distancias de los distintos tamaños de las pértigas (ver Figura 19). En estos soportes se pudieron anclar los puntos de tensión y el material que se iba a probar, considerando los aislamientos adecuados y la distancia de seguridad entre los puntos para evitar cortos circuitos por corrientes de fuga.
- Los conductores bujes e instrumentos deben ser protegidos para minimizar las corrientes parásitas erróneas a los planos de tierra cercanas.

- Los medidores u otros dispositivos de indicación de corriente fueron incorporados para dar datos cuantitativos para la evaluación de materiales.
- Se usaron resortes como se indica en IEEE 978 de 1984 para unir los puntos de tensión con la pértiga.
- El equipo de prueba utilizado en el ensayo, aceptación y pruebas de ruptura dieléctrica debía ser capaz de suministrar corriente continuamente o de forma variable durante el ensayo.
- En tablero de control. se incluyó un sistema de seguridad para interrupción de corriente en caso de incurrir en fallas. Los enclavamientos y las características de puesta a tierra fueron incluidos para la protección del operador.
- El soporte de pértigas se construyó con policloruro de vinilo (PVC) cuyas propiedades mecánicas y eléctricas se encuentran registradas en las tablas 11 y 12. Adicional a este material se usó madera en la parte inferior o base para que el centro de masa fuera un punto muy bajo garantizando estabilidad.

Tabla 11. Propiedades mecánicas del PVC

PROPIEDADES MECANICAS A 23°C	UNIDAD	VALORES
PESO ESPECIFICO	gr/cm3	1.45
RESIST. A LA TRACC.(FLUENCIA / ROTURA)	Kg/cm ²	550 / --
RES. A LA COMPRESION (1 Y 2 % DEF)	Kg/cm ²	170 / 300
RESISTENCIA A LA FLEXION	Kg/cm ²	700
MODULO DE ELASTICIDAD (TRACCION)	Kg/cm ²	31000
DUREZA	Shore D	80 – 83

Fuente: <http://www.plasticbages.com/caracteristicaspvc.html>

Tabla 12. Propiedades eléctricas del PVC

PROPIEDADES ELECTRICAS	UNIDAD	VALORES
CONSTANTE DIELECTRICA A 60 HZ		3.2 - 3.6
ABSORCION DE HUMEDAD AL AIRE	%	0.05 a 0.4
RIGIDEZ DIELECTRICA	kV/mm	12

Fuente: <http://www.plasticbages.com/caracteristicaspvc.html>

- Cada soporte de los tres contruidos. tiene una abertura diferente para suspender la pértiga, de manera que dependiendo el diámetro del elemento a probar se debe ajustar a mínimo dos soportes.

- Para aislar eléctricamente el contacto directo en el agujero donde se ubica la pértiga, en cada soporte se usó cartón prensado NOMEX®, con el cual además se taparon los agujeros de la parte superior e inferior del soporte, evitando la entrada de suciedad y las pruebas se pueden desarrollar de manera confiable (ver figura 43).

Figura 43. Construcción y aislamiento de soportes



Fuente: Autor

- Adicionalmente se usó tubo de media pulgada y uniones para hacer los anclajes de los tubos conductores que reciben la tensión directamente de las terminales 1 y 2 que se muestran en el circuito de la figura 22.
- Para facilitar la prueba, se usaron tubos en aluminio que permiten la conducción de energía de manera estable y uniforme a través de toda la pértiga mediante la conexión por resorte. Ver figura 44.

Figura 44. Anclaje de tubos y conexión de resortes.

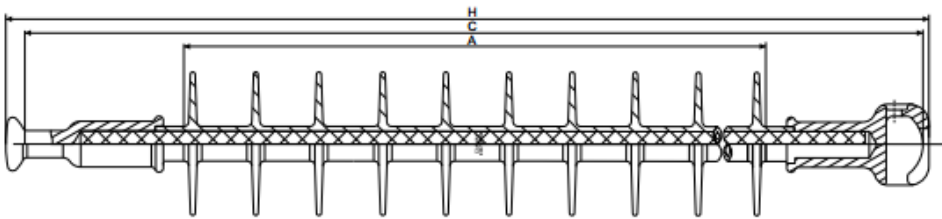


Fuente: Autor

4.2.8 Aisladores

Para ingresar el guante de forma vertical a la cubeta, se requirió un sistema móvil de anclaje por cadena que permite graduar la altura del guante en relación con el agua contenida dentro de la cubeta. Este anclaje permite suspenderse desde el techo del laboratorio de pruebas e incluye aisladores poliméricos de 30 kV y que no permiten la conducción de corriente de fuga a través de la estructura del mismo. Las características físicas de los aisladores utilizados se presentan de la Tabla 13 y la figura 45.

Tabla 13. Características aisladores.

	
Tres aisladores poliméricos	Voltaje de prueba 30 kV
Voltaje de aplicación 69 kV	H: altura 653 mm
Distancia de fuga 1091 mm	Distancia de arco 472 mm
Voltaje nominal 46kV	Tensión de flameo en seco 205kV

Fuente: aisladores poliméricos Gamma corona

Figura 45. Aisladores poliméricos



Fuente: Autor

4.2.9 Elementos de protección para el operador del sistema de pruebas

Tapate para zona de trabajo (ver figura 46): permite señalar la zona de pruebas

Figura 46. Tapete



Fuente: Autor

Elementos indicadores de riesgos y protección (ver figura 47). Se ubicaron señales informativas de advertencia y precaución de alta tensión.

Figura 47. Avisos informativos



Fuente: Autor

Para el caso de pruebas a pértigas, en el sistema diseñado, se consideró que la señalización de la zona de trabajo fuera visible y las pruebas se realizaran en el laboratorio dependiendo del tamaño de la pértiga y el espacio disponible, con la opción de hacer la prueba a la pértiga en su totalidad al extenderla completamente o si conviene desarrollar el ensayo por secciones. Los implementos requeridos para realizar los ensayos se muestran en la señalización y es obligatorio su uso.

Para la realización de las pruebas en las instalaciones de laboratorios de la UPTC Duitama, por seguridad de la comunidad académica, fue pertinente desarrollar pruebas en horarios que no interrumpieran clases y solamente se permitió la observación de los estudiantes bajo condiciones seguras.

5. PRUEBAS PILOTO

Para la comprobación del funcionamiento y aplicación del sistema de pruebas construido, en el presente capítulo se indican los resultados en las pruebas realizadas, la descripción de las secuencias de pruebas propuestas para el uso del sistema con guantes y pértigas; la validación de resultados obtenidos en pruebas reales de laboratorio; un sistema de gestión de resultados y un plan de mantenimiento para su aplicación futura y aporte al proyecto de investigación SGI 1744, así como prácticas académicas que sean requeridas en programas afines al área eléctrica de la UPTC y entidades externas.

En el anexo B se incluye el modelamiento matemático para el sustento teórico y la predicción de los resultados obtenidos, los elementos mencionados con relación a los componentes del circuito se hacen en función de la asignación dada en dicho anexo.

5.1 APLICACIÓN DE LAS SECUENCIAS DE PRUEBA

Las pruebas disponibles en el sistema propuesto en este proyecto, fueron diseñados con fines académicos e industriales, mediante la técnica de voltaje sostenido a guantes y pértigas hasta 15 kV en (AC) considerando a estos como los principales elementos que están en contacto con las líneas de transmisión y redes de distribución en su correspondiente técnica de trabajo.

La prueba de voltaje sostenido consiste en alimentar con una tensión variable los implementos de protección personal indicados, según las normas ASTM D-120, IEEE 978 de 1984 y otras afines⁴⁶, además de documentación científica⁴⁷ y de soporte académico⁴⁸. La tensión aumenta de manera controlada y uniforme hasta

⁴⁶ Ibíd. Páginas 29 y 30.

⁴⁷ KOLCIO, Nestor y PESZLEN Richard A. Electrical Aspects of Testing Insulating Gloves. En IEEE Transactions on Power Apparatus and Systems. Vol.PAS-102, Issue: 7, p. 2364 – 2368. ISSN: 0018-9510. DOI: 10.1109/TPAS.1983.318163. July 1983 (Date of Current Version: 26 February 2007).

⁴⁸ OSPINA, Hector. Control predictivo para la detección de alarmas en pruebas de aislamiento de Pértigas utilizadas en redes de distribución. Revista Energía y Computación. Vol. 17 no. 1, 2009. Obtenido el 20 de abril de 2016 de <http://bibliotecadigital.univalle.edu.co/bitstream/10893/1486/1/Control%20Predictivo%20Para%20la%20Deteccion%20de%20Alarmas%20en%20Pruebas%20de%20Aislamiento%20de%20Pertigas%20Utilizadas%20en%20Redes%20de%20Distribucion.pdf>.

llegar al nivel que se especifica para cada clase de guante o pértiga de manera individual, donde se sostiene durante un tiempo mínimo y se desenergiza de manera súbita.

Si no existe ninguna falla en el elemento al que se realiza la prueba, se da el criterio de aceptación y se diligencia el formato del sistema de gestión para cada par de guantes o pértiga, luego se marcan con un sello o marcador permanente con la fecha de la revisión. Si existe una falla en el elemento se da un criterio de rechazo, sellándolo, golpeándolo o cortándolo antes de ser devuelto al proveedor o contratante del servicio de prueba, indicando que no es apto para el uso eléctrico.

El deterioro del aislamiento del implemento probado, puede permitir el paso de corriente al operario ocasionando lesiones que lo perturben o produzcan una electrocución. El objetivo del sistema es aportar en la prevención de accidentes en labores de TCT.

El manual de procedimiento desarrollado para el uso de sistema que se encuentran en el anexo C, ha sido elaborado con base en las secuencias de pruebas descritas en las secciones 3.2 y 3.4 del presente documento. Una vez realizada cada prueba, se deben ingresar los resultados en un protocolo propuesto mediante un sistema de gestión de resultados que se indica en el anexo D.

5.1.1 Aplicación del sistema de pruebas en guantes

Con el fin de determinar las principales características y comportamiento de los elementos del sistema de ensayos y de los guantes, se realizaron pruebas teniendo en cuenta la secuencia descrita en la sección 3.2.4 y en manual de procedimiento (Anexo C). De esta manera se pudo verificar el correcto funcionamiento de la transición de lo que fue diseñado a lo que fue implementado, además de solucionar fallos que se manifestaron al momento de la realización de las pruebas. La aplicación del sistema se probó en tres tipos de guantes: guantes de cocina, guantes de nitrilo para manejo de desechos tóxicos y guantes dieléctricos clase 00, obteniendo los siguientes resultados:

Prueba de voltaje sostenido a guantes de caucho para cocina:

La prueba en guantes de cocina se desarrolló como ensayo piloto para registrar los datos de que se encuentran en la tabla 14, indicando un incremento en la corriente del lado de baja de hasta 980mA(rms) con un voltaje en el primario de 30V(rms) lo que significó una potencia máxima de 29.4VA que no implicó ningún riesgo para el transformador elevador. La figura 48 corresponde a la prueba realizada al guante de caucho para tareas de aseo.

Tabla 14. Prueba a guantes de cocina

VALORES MEDIDOS			VALORES CALCULADOS (voltaje y corriente eficaz)			
Corriente en baja tensión [A]	Voltaje en el lado de baja del transformador [V]	Voltaje el guante [kV]	Voltaje en el lado de Alta del transformador [V]	Voltaje en elementos limitadores (R1 y L1) [V]	Corriente en alta tensión [mA]	Impedancia de la carga - Resistencia del guante [Ohm]
0.210	1.90	0.006	237.5	231.5	0.463	12.96
0.210	4.14	0.013	517.5	504.5	1.009	12.88
0.240	5.90	0.018	737.5	719.5	1.439	12.51
0.280	7.80	0.023	975.0	952.0	1.904	12.08
0.980	30.00	0.092	3750.0	3658.0	7.316	12.58

Fuente: Autor

Figura 48. Prueba a guante de cocina.



Fuente: Autor

A partir de los valores medidos, se establecieron mediante la relación del transformador, los niveles de tensión en el lado de alta, La caída de tensión entre la resistencia (R1) y la inductancia limitadora (L1), se determinó por medio de la diferencia entre el voltaje en el lado de alta y el voltaje medido en el guante; valor que permitió calcular la corriente en el lado de alta como el valor del voltaje sobre la impedancia equivalente (serie de R1 y L1). Finalmente el valor de impedancia del guante se obtuvo por la división entre el voltaje medido y la corriente calculada en el lado de alta, encontrando una resistencia promedio de 12.6Ω.

Mediante el ensayo desarrollado se comprobó que:

- El sistema de pruebas funcionó correctamente al evidenciar la circulación de un nivel corriente en el lado de alta cuando se cierra el circuito entre los terminales 1 y 2 con un elemento conductor resistivo.
- El tablero de control y los dispositivos de señalización cumplieron su objetivo. en concordancia con la secuencia de prueba establecida.
- No se llevó el guante a la zona de ruptura por lo que su resistencia permaneció constante (cerca a $12,6\Omega$). lo cual se evidencio con el incremento de voltaje y corriente a medida que aumentaba el nivel de tensión de alimentación y la ausencia de fisuras o agujeros que permitieran que el agua pasara de un lado al otro.
- El guante de cocina no es elemento dieléctrico que permita su aplicación en TCT ya que a pesar de soportar 92Vrms permitió la circulación de 7.316mA eficaces lo que implica riesgos para el trabajador.
- El concepto final de la prueba dieléctrica es de rechazo debido a que la estructura del caucho en este implemento no es pertinente en TCT y sus propiedades no permiten que la persona se aislé de manera segura.

Prueba de voltaje sostenido a guantes de nitrilo:

Con el fin de determinar la impedancia equivalente de otro tipo de guante no comercializado para TCT y establecer el funcionamiento del sistema con otros materiales, se desarrolló un ensayo con un guante de nitrilo conectado entre los terminales 1 y 2 tal como se indica en la figura 49, obteniendo los datos registrados en la tabla 15.

Figura 49. Prueba a guante de nitrilo.



Fuente: Autor

Tabla 15. Prueba a guantes de nitrilo.

VALORES MEDIDOS RMS				VALORES CALCULADOS			
Voltaje en lado de baja [V]	Corriente en el lado de baja [A]	Corriente en la carga [mA]	Voltaje en el guante [V]	Voltaje en el lado de alta [Vrms]	Impedancia del guante (Voltaje/Corriente) [K Ω]	Voltaje en elementos limitadores (R1 y L1) [V]	Corriente en alta tensión [mA]
4.90	0.22	1.19	34.1	612.5	28.75	578.40	1.16
10.37	0.24	2.49	74.7	1296.3	30.00	1221.55	2.44
14.60	0.26	3.51	104.3	1825.0	29.72	1720.70	3.44
20.70	0.32	4.60	149.0	2587.5	32.39	2438.50	4.88
25.09	0.30	5.91	173.8	3136.3	29.41	2962.45	5.92
30.00	0.40	7.25	212.3	3750.0	29.28	3537.70	7.08
35.70	0.50	8.40	246.2	4462.5	29.31	4216.30	8.43
39.60	0.60	9.23	271.4	4950.0	29.40	4678.60	9.36
45.20	0.70	10.59	306.0	5650.0	28.90	5344.00	10.69
50.40	0.80	11.79	345.9	6300.0	29.34	5954.10	11.91
60.09	1.10	14.09	412.0	7511.3	29.24	7099.25	14.20

Fuente: Autor

A partir de la medición de voltaje y corriente en el lado de baja del transformador, se desarrolló la prueba hasta 60V, 1,10A lo cual implico un nivel de potencia máximo de 66,1VA como parámetro seguro para la operación de dicho elemento. Con las mediciones directas de voltaje y corriente en el guante se obtuvo un valor de aislamiento promedio de 29,6 k Ω .

Con los valores de voltaje en el lado de baja y la relación de transformación se calculó la tensión en el lado de alta. El voltaje en los elementos limitadores (serie de R1 y L1) se determinó por la diferencia en el lado de alta y el voltaje en el guante y con dichos valores al dividir sobre la impedancia RL equivalente se obtuvo otro valor para el nivel de corriente de alta que al compararse con la medición directa fueron similares, comprobando que la resistencia y la inductancia limitadora en la práctica se comportaron de acuerdo con los parámetros establecidos en el diseño.

Este ensayo permitió concluir que:

- Nuevamente. el sistema de pruebas funcionó correctamente al evidenciar la circulación de un nivel corriente en el lado de alta cuando se cierra el circuito ente los terminales 1 y 2 con un elemento conductor resistivo.

- No se llevó el guante a la zona de ruptura por lo que su resistencia de aislamiento permaneció constante (cercana a 29.6 kΩ). lo cual se evidenció con el incremento de voltaje y corriente a medida que aumentaba el nivel de tensión de alimentación y la ausencia de fisuras o agujeros que permitieran que el agua pasara de un lado al otro.
- El guante de nitrilo no es elemento dieléctrico que permita su aplicación en TCT ya que a pesar de demostrar un nivel de impedancia alta, permitió la circulación de 14,09mA con un nivel de tensión de 412Vrms.
- El concepto final de la prueba dieléctrica es de rechazo para TCT ya que sus propiedades de aislamiento no son seguras.

Prueba de voltaje sostenido a guantes dieléctricos clase 00:

Para este proyecto se contó con un par de guantes clase 00 según los recursos asignados, lo que permitió realizar un ensayo con el sistema de pruebas sobre un elemento real usado en TCT. Los guantes clase 00 son usados para TCT a 500V y deben someterse a pruebas de rigidez dieléctrica de 2500V y de ruptura de 4000V. Mediante el manual de procedimiento con la secuencia de prueba establecida en el anexo B se realizó una prueba de voltaje sostenido durante un minuto, a un par de guantes clase 00 marca REGELTEX. En la figura 50 se presenta la conexión de los elementos del sistema para la prueba con este tipo de guantes y en la tabla 16 se indican los valores registrados para el ensayo realizado.

Figura 50. Prueba a guantes dieléctricos clase 00.



Fuente: Autor

Tabla 16. Prueba de guante clase 00

VALORES MEDIDOS				VALORES CALCULADOS						
Corriente en baja tensión [A]	Baja tensión [V]	Corriente en alta tensión [mA]	Voltaje en el guante [V]	Voltaje en elementos limitadores (R1 Y L1) [V rms]	Voltaje en el lado de alta [V rms]	Voltaje en el lado de baja m=125	Impedancia del guante directa (Vguante/Iguante) [Ohm]	Rc +R1 despejada con modelo [Ohm]	Impedancia del guante Rc despejada [Ohm]	Nueva relación de transformación
0.21	0.2	0.017	8.4	8.5	16.9	0.1352	494117.6	994117.6	494117.6	84.5
0.21	5.2	1.117	557.2	558.5	1115.7	8.9256	498836.1	998836.1	498836.1	214.6
0.21	10.86	3.02	2034	1510	3544	28.352	673509.9	1173509.9	673509.9	326.3
0.21	12.2	4.05	2480	2025	4505	36.04	612345.6	1112345.6	612345.6	369.3

Fuente: Autor

A partir de los valores medidos se establece un flujo de corriente constante en baja tensión con un valor cercano a las pruebas realizadas al transformador en vacío. De la medición directa de la corriente y la tensión en el guante se obtuvo una relación de la impedancia equivalente de dicho elemento con un valor cercano a $570\text{k}\Omega$, el cual también se calculó por despeje directo de R_c según el modelo establecido en la ecuación 5 del anexo F. El voltaje en el lado de alta se determinó por la suma del voltaje de los elementos limitadores y de la carga, experimentando un fenómeno de alteración de la relación de transformación al contrastar el voltaje real medido en el lado de baja con el que debería obtenerse por la simple división sobre 125 que es el parámetro de fábrica para el transformador elevador; sin embargo la potencia máxima entregada en el lado de alta tensión fue de 18VA que no superan el valor máximo establecido por el fabricante permitiendo el desarrollo de una prueba segura.

Del ensayo desarrollado se pudo concluir que:

- El sistema de pruebas funcionó correctamente al evidenciar la circulación de un nivel corriente en el lado de alta tensión cuando se cierra el circuito ente los terminales 1 y 2 con un elemento aislante cuyo equivalente resistivo fue de $570\text{k}\Omega$.
- La tensión aplicada al guante se incrementó hasta el voltaje de prueba permitiendo la circulación de $4,05\text{mA}$ con un voltaje de entrada de $12,2\text{V}$. El aumento en el voltaje medido en el guante en función de la variación del voltaje de entrada, evidencio que el elemento se encontraba en condiciones tolerables de aislamiento.
- El guante clase 00 probado. si es un elemento dieléctrico que permite su aplicación en TCT, demostrando un nivel de impedancia alta, permitiendo la circulación de 4.05mA con un nivel de tensión de 2480Vrms , 'por tanto el concepto final de la prueba dieléctrica es de aceptación para TCT ya que sus propiedades de aislamiento son seguras.

5.1.2 Aplicación del sistema de pruebas en pértigas

De igual forma que a las pruebas realizadas con los guantes, con el fin de validar el sistema se desarrollaron ensayos de voltaje sostenido sobre pértigas teniendo en cuenta la secuencia descrita en la sección 3.4.2 y en el manual de procedimiento (Anexo B). La aplicación del sistema se probó en un tubo de PVC ya que no se contó con disponibilidad presupuestal para la adquisición de una pértiga exclusiva para el proyecto.

La UPTC Duitama cuenta con pértiga telescópica de 7 secciones para sus labores de mantenimiento, la cual fue prestada solo para la verificación de pruebas de anclaje mecánico con lo cual se demostró que la estructura construida soportaba

el peso y se ajustaba a las dimensiones requeridas por este elemento, como se indica en la figura 51.

Figura 51. Prueba de anclaje mecánico con pértiga.



Fuente: Autor

Prueba de voltaje sostenido a tubo PVC:

Con el fin de verificar el funcionamiento del soporte construido para el anclaje de pértigas y tubos conductores, se desarrolló un ensayo preliminar con un tubo de PVC de ventilación de 1,5m de longitud tal como se indica en la figura 52. Los valores obtenidos son registrados en la tabla 17

Tabla 17. Prueba de tensión aplicada a tubo de PVC

VALORES MEDIDOS			VALORES CALCULADOS	
Nivel de tensión en baja [V rms]	Nivel de corriente en baja [A rms]	Voltaje en el tubo de PVC [V rms]	Nivel de corriente en alta [mA rms]	Impedancia del tubo de PVC [Ohms]
37.41	0.24	4998	1.92	2603125.0
41.36	0.24	5520	1.92	2875000.0
44.50	0.25	5933	2.00	2966500.0
49.00	0.26	6520	2.08	3134615.4
51.50	0.26	6910	2.08	3322115.4
56.00	0.27	7520	2.16	3481481.5
59.60	0.28	8000	2.24	3571428.6
64.10	0.29	8550	2.32	3685344.8
67.30	0.30	9040	2.40	3766666.7
70.20	0.31	9450	2.48	3810483.9
74.30	0.32	10000	2.56	3906250.0
79.00	0.33	10560	2.64	4000000.0
82.70	0.34	11050	2.72	4062500.0
86.60	0.37	11580	2.96	3912162.2
90.00	0.38	12000	3.04	3947368.4
93.10	0.40	12460	3.20	3893750.0
98.00	0.43	13010	3.44	3781976.7

Fuente: Autor

Figura 52. Prueba a tubo de PVC



Fuente: Autor

Del ensayo desarrollado se pudo concluir que:

- El nivel de tensión aplicada sobre los terminales 1 y 2 durante 1 minuto hasta llegar a 13010V.
- El aumento progresivo de la tensión sobre el tubo permitió verificar que el sistema no trabajó en una condición de cortocircuito funcionando correctamente al evidenciar la circulación de corriente en el lado de alta cuando se cierra el circuito ente los terminales 1 y 2 con un elemento aislante cuyo equivalente resistivo en promedio de 3,85MΩ después de la estabilización del circuito.
- La potencia del transformador elevador fue de máximo 42,3VA obtenida por la multiplicación del voltaje y la corriente en el lado de baja. Valor cercano al 10% de máxima potencia permitida para dicho elemento por lo que la prueba fue segura para el sistema.
- Aunque los resultados del ensayo permiten apreciar al tubo de PVC como un elemento dieléctrico, su uso fue únicamente con fines demostrativos para la validación del sistema ya que dicho elemento no es aceptado para TCT en la técnica de distancia y adicionalmente el voltaje máximo aplicado al elemento (13010V) es muy inferior a los 75 kV establecidos como voltaje de prueba para pértigas comerciales.

5.2 SISTEMA DE GESTIÓN DE RESULTADOS

Se diseñó un sistema de gestión de resultados para poder comparar los resultados de las pruebas realizadas de años anteriores a guantes y pértigas. Dicho sistema permite encontrar de forma ágil el historial de los elementos y la información del usuario, tiempo de servicio, cuadrilla, entre otra. Facilitando la elaboración de los nuevos informes. El sistema de gestión se diseñó en Power Point, siendo de fácil manejo. como se explica en la figura 58.

En la carpeta con los archivos Laboratorio de alta tensión.pptx, escoja (se selecciona – nada de verbos en imperativo) el ensayo a realizar.pptx, clase de guante.pptx, clase de pértiga.pptx y carpeta con documentación a llenar.

El sistema de gestión cuenta con una interfaz de usuario que permite el uso de manera sencilla en cualquier equipo de cómputo. Consta de un formato de recolección de datos que debe estar impreso y se encuentra en el anexo C que permite validar de forma manual y escrita los datos para que luego sean soportados de manera digital e impresos para la entrega de los elementos con su respectivo protocolo de prueba.

Los datos característicos que se diligencian, para las pruebas en guantes se indican en la tabla 18, y para las pértigas en la tabla 19.

Tabla 18. Datos a diligenciar en el ensayo de guantes

Tipo	
Propietario	
Operario	
Tensión de prueba (en Voltios)	
Numeración	
Última revisión	
Fecha de revisión	

Fuente: Autor

Tabla 19. Datos a diligenciar en el ensayo de pértigas

Numero de secciones	
Propietario	
Operario	
Numeración	
Distancia entre puntos (en centímetros)	
Tensión de prueba (en Voltios)	
Última revisión	
Fecha de revisión	

Fuente: Autor

En el ANEXO D, se presenta en detalle el manejo de dicho sistema.

5.3 PLAN DE MANTENIMIENTO

El plan de mantenimiento permite de manera programada llevar a cabo unas tareas para determinar las condiciones de los elementos y equipos que se usan en la prueba y poder así determinar sus condiciones y entregar un criterio de forma preventiva o correctiva de los mismos. En el anexo E, se presenta el plan de mantenimiento considerado en el proyecto.

El plan de mantenimiento propuesto contiene los pasos a seguir para hacer un montaje o desmontaje de los elementos que requieren algún cambio. Las tareas de mantenimiento deben realizarse de manera periódica y deben usarse los datos obtenidos para llenar los requisitos establecidos. Contiene además una breve descripción de los trabajos de mantenimiento, el campo de aplicación, las obligaciones éticas y legales para la realización de las pruebas, la clasificación en equipos certificados y no certificados para tener en cuenta la adquisición de piezas nuevas reemplazantes en el sistema de pruebas como el transformador elevador, unas tareas de mantenimiento describiendo las actividades a realizar de manera

rutinaria o programada, unas indicaciones pertinentes para tener en cuenta y un formato F-02 para la adquisición de datos.

Para su ejecución es necesario considerar que:

- El personal que va a realizar las pruebas debe chequear continuamente o diariamente el equipo, si no se usa debe estar desenergizado y debe ser limpiado al momento de requerirse.
- Se debe proyectar en el laboratorio con anticipación los días en que se van a realizar las actividades de mantenimiento, además de manera periódica constatar el correcto funcionamiento de los elementos.
- Determinar que las actividades puedan realizarse cuando exista una falla controlando de manera periódica los elementos que forman el sistema de pruebas teniendo en cuenta los parámetros de diseño.

Las tareas que se harán para realizar el plan de mantenimiento se determinan debido a las correcciones y previo error de los elementos, siendo de carácter obligatorio y permitiendo establecer el buen funcionamiento del equipamiento. Dichas tareas son contempladas en este documento y son estipuladas debido a la frecuencia en que se realizan, su duración, la determinación de un especialista si es necesario y tener en cuenta el permiso de la UPTC o del encargado y de manera inminente tener des-energizado el sistema.

6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

6.1 CONCLUSIONES

- El campo de aplicación de los TCT se divide en tres partes importantes que permiten el desarrollo de las actividades de mantenimiento y ampliación de redes energizadas capaces de brindar un óptimo servicio al usuario, como son el conocimiento de los trabajos, una destreza por parte de los operarios y la inclusión de este proyecto en el buen funcionamiento de los elementos de protección personal que certifiquen el uso de manera confiable y eficiente, cumpliendo con los requerimientos legales.
- La relevancia de trabajar en línea viva es permitir que los usuarios tengan un servicio continuo y las entidades que dependen de la energía eléctrica tengan un funcionamiento óptimo y seguro.
- Existe en el mercado un equipo para la realización de ensayos a guantes y mangas con precios muy elevados que se aproximan a 100 veces el rubro que fue usado para este proyecto.
- Las pruebas permiten determinar las distintas características de un circuito eléctrico, recopilando información y apoyándose en el conocimiento brindado por la carrera de Ingeniería electromecánica.
- Los resultados de los ensayos destacan la importancia de los elementos y equipos de protección personal para el uso en TCT, demostrando que las características que se querían obtener fueron verídicas tanto en software como en la vida real.
- Los ensayos de rigidez dieléctrica de los elementos y equipos de protección personal estipulan la realización de estas pruebas bajo los parámetros de las normas ASTM D120, ASTM F496, ISO 60903, ASTM-F711 y la IEEE 978, con la finalidad de disponer de los elementos de seguridad en la capacidad de operación para así manipular el sistema de forma segura y no poner en riesgo la vida del trabajador.
- Los guantes dieléctricos son elementos que aíslan las manos del operario, por lo que se convierten en herramientas fundamentales para TCT con la técnica a contacto, ya que las actividades de mantenimiento, conexión e instalación eléctrica se realizan directamente con las manos. Estos guantes

son designados como Tipo I o Tipo II según sean resistentes o no al ozono y en cada caso subdivididos como clase 00, 0, 1, 2, 3 y 4 según lo establecido en las normas ASTM D 120, UNE-EN 60903: 2005 y ASTM F 496, en función del nivel de voltaje de prueba para el cual fue construido (de 2.5 a 40kV AC), el voltaje de ruptura (de 4 a 50 kV AC) y la corriente de prueba (de 8 a 24 mA). Dicha clasificación se verifica en el guante mediante la marcación de forma clara y permanente con el nombre de fabricante o proveedor, tipo, tamaño y clase, así como el etiquetado del sello de conformidad de la última prueba dieléctrica realizada.

- Los ensayos desarrollados validan el sistema propuesto, desde el punto de vista mecánico considerando los materiales seleccionados y dimensiones de las estructuras construidas para los elementos de soporte y ubicación de guantes o pértigas. Desde el punto de vista eléctrico, se pudieron realizar ensayos para establecer capacidades dieléctricas y la comprobación del modelo matemático establecido para el circuito del sistema, cuando este funcionaba en condiciones de circuito abierto, con carga resistiva o en corto circuito entre los terminales de ubicación del elemento de prueba. Se verificó además el cumplimiento de la normatividad establecida bajo las secuencias de prueba incluidas en los manuales de procedimiento; el cumplimiento de parámetros de seguridad para el uso del sistema y el seguimiento a los ensayos hechos, mediante el uso del sistema de gestión para la generación de conceptos de aprobación o rechazo de los elementos probados.
- Como resultado de este trabajo, la universidad pedagógica y tecnológica de Colombia, Facultad seccional Duitama, cuenta con un montaje para realizar pruebas dieléctricas a materiales y equipos eléctricos hasta 15 kV, siendo este el primer paso para la creación de un laboratorio de pruebas electromecánicas en la región de Boyacá y Casanare. este laboratorio podrá prestar servicios de extensión, investigación y docencia.

6.2 RECOMENDACIONES

- El sistema de pruebas implementado utiliza equipos de laboratorio del área eléctrica de la UPTC y del grupo de investigación GridsE como son el variac, el transformador elevador y los elementos de medida, lo que implica que no están asignados únicamente para el desarrollo de este proyecto y por tanto no se cuenta con una disponibilidad completa para la realización permanente de pruebas de aislamiento. Por tanto se recomienda que estos elementos sean adquiridos para el uso específico del sistema de pruebas a través de la participación futura de otras convocatorias para el proyecto de investigación o en proyectos de inversión para el laboratorio de certificación.
- Las pruebas de aislamiento a implementar con el sistema propuesto deben realizarse en las instalaciones de laboratorios de la UPTC Duitama. Mientras no se disponga de otro espacio físico para el laboratorio de certificación y por seguridad de la comunidad académica, se recomienda desarrollar estas pruebas en horarios que no interrumpieran clases; que se seguir el estricto cumplimiento de la señalización de seguridad instalado en sistema así como los pasos establecidos en las secuencias de prueba y finalmente que solo se permita la observación de los estudiantes bajo el monitoreo y acompañamiento permanente de un docente encargado.
- Según la disponibilidad presupuestal para el proyecto, se pudo verificar el funcionamiento del sistema mediante pruebas de aislamiento en AC a guantes de caucho para tareas domésticas, guantes de nitrilo para manipulación de desechos tóxicos, guantes de aislamiento para niveles de tensión mínimos tubo de PVC de ventilación; y en el caso específico para elementos para TCT se usaron un par de guantes dieléctricos clase 00 y una pértiga telescópica disponible en la UPTC Duitama. Para usos futuros del sistema propuesto y un proceso de certificación es conveniente adquirir otros elementos de protección personal para TCT, un transformador elevador de mayor potencia y una fuente DC de alta tensión. que permitan validar las pruebas de tensión en AC y DC.
- Como trabajos futuros se plantea la oportunidad de desarrollo de otros proyectos como opción de grado para la consolidación del laboratorio de certificación incluyendo sistema de pruebas para el resto de equipamiento y herramientas requeridos en TCT, en equipos del sistema eléctrico y estudios de simulación e investigación; la integración de la bobina de tesla disponible en el laboratorio como fuente de alta tensión para pruebas de aislamiento pertinentes; diseño de un sistema de voltaje sostenido en DC; la integración de sistemas de adquisición de datos y control automático del variac.

- Las características de los elementos y equipos requeridos para pruebas de aislamiento determinan un análisis matemático variable debido los distintos componentes usados como el agua que tiene características resistivas y capacitivas diferentes en cada prueba, determinando de esta manera que la medición de tensión debe realizarse con una punta de alta tensión en el circuito alta tensión con un elemento de medida pertinente para cerciorarse que los elementos a probar no sobrepasen los niveles de voltaje correctos de prueba.

7. BIBLIOGRAFÍA

ADMINISTRACIÓN NACIONAL DE USINAS Y TRASMISIONES ELÉCTRICAS UTE. Empresa propiedad del Estado uruguayo que se dedica a las actividades de generación. transmisión. distribución y comercialización de energía eléctrica. prestación de servicios anexos y consultoría. - See more at: <http://portal.ute.com.uy/institucional/qui%C3%A9nes-somos#sthash.t2g16Hnd.dpuf> 18 de Febrero 2016.

Artículo 32.1 RETIE. Disponible en RETIE. versión actualizada 2015.

ASTM D 120. standard specification for rubber gloves disponible en línea o en los formatos ASTM. <http://www.astm.org/>

ASTM F 496. Standard Specification for In-Service Care of Insulating Gloves and Sleeves.

ASTM F711 estándar specification for in- service care of Insulating Gloves and Sleeves. Disponible <http://www.astm.org/> y normatividad vigente ASTM. 18 de Febrero 2016.

ASTM 92.2 CARROCANASTA. Voltaje sostenido disponible en <http://hseeservicesltda.com/web/index.php/inspecciones/equipo-de-izaje-de-cargas>. Consultado el 28 de abril de 2016

COMISIÓN DE REGULACIÓN DE ENERGÍA Y GAS CREG. Resolución CREG-027 de 2007. Por la cual se modifica el artículo 85 de la Resolución CREG-071 de 2006 y se dictan otras disposiciones sobre reporte de información referente a las Subastas para la Asignación de Obligaciones de Energía Firme del Cargo por Confiabilidad. Disponible en <http://www.creg.gov.co/cxc/secciones/documentos/resoluciones.htm>.

DECRETO 2124 DE 2012. Del ministerio de Industria y Comercio Disponible en <http://wsp.presidencia.gov.co/Normativa/Decretos/2012/Documents/OCTUBRE/16/DECRETO%202124%20DEL%2016%20DE%20OCTUBRE%20DE%202012.pdf> consultado el 30 de noviembre del 2015.

DECRETO 3735 DE 2009. Artículo 1 que modifica el artículo 39 del decreto 2269 de 1993 disponible en: <http://www.alcaldiabogota.gov.co/> consultado el 3 de septiembre del 2015.

ESCALERAS ELÉCTRICAS DE COLOMBIA DEL CARIBE. Obtenido en <http://www.escalerasdecolombia.com/pertigas.htm>. 9 de Abril del 2016

HUBBEL chance. distribuidora de pértigas. disponible en: <http://www.hubbellpowersystems.com/catalogs/lineman/es/2100Spanish.pdf>. Consultado el 06 de Enero del 2016.

HURTADO ROMERO. Danny Fabián y VILLAMAR ERAS. Fabricio Eduardo. Diseño y construcción de una bobina de tesla de 15 kV en el primario para el laboratorio de alta tensión de la Universidad Politécnica salesiana Sede Cuenca. Cuenca. Abril de 2014. p. 31.

IEC 855. Normatividad para tubos dieléctricos en fibra de vidrio. disponible en <http://www.iec.ch/standardsdev/publications/>. consultado el 6 de Febrero del 2016
INNOVA SAFETY S.A.S. Bogotá Colombia. Consultado en: <http://innovasafety.com.co/index.php/quienes-somos>. Obtenido el 9 de abril de 2016.

ISO 60903 en línea o en los formatos ASTM. <http://www.astm.org/>

IEEE 978 de 1984 guide for in service maintenance and electrical testing of line lives tools. Consultado en base de datos UN. El 3 de Julio del 2015.

KOLCIO. Nestor y PESZLEN Richard A. Electrical Aspects of Testing Insulating Gloves. En IEEE Transactions on Power Apparatus and Systems. Vol.PAS-102. Issue: 7. p. 2364 – 2368. ISSN: 0018-9510. DOI: 10.1109/TPAS.1983.318163. July 1983 (Date of Current Version: 26 February 2007).

LEY 1480 DEL 2011 que determina los requerimientos y disposiciones para los usuarios de la energía disponible en http://www.secretariassenado.gov.co/senado/basedoc/ley_1480_2011.html. Consultado 28 de abril de 2016.

LTL. LINEMAN'S TESTING LABORATORIES OF CANADA LIMITED. Proper Insulating Rubber Glove Care. Use & Testing. Obtenido de http://www.ltlutilitysupply.com/a/pdfs/products/20140303110650_20130625111938_insulatingrubberglovescareanduse_201306.pdf. Consultado el 9 de abril de 2016.

MEJÍA E. Estudio de factibilidad para el montaje del laboratorio de pruebas equipo línea viva empresa living. S.A. Informe de trabajo de grado. Universidad Distrital Francisco Jose de Caldas. Bogotá. Disponible en: http://repository.udistrital.edu.co/handle/11349/1038_2015-05-16

MINISTERIO DE LA PROTECCIÓN Social. Gobierno de Colombia. Resolución 001348 De 2009. Disponible en: <http://www.alcaldiabogota.gov.co/sisjur/normas/Norma1.jsp?i=36213>.

NORMA TÉCNICA COLOMBIANA NTC-ISO/IEC 17025. Requisitos generales para la competencia de los laboratorios de ensayo y calibración. Consultado el 26 de Octubre del 2015.

NORMA DE DISTRIBUCIÓN N. MA.01.19/2 PÉRTIGAS DE MANIOBRA PARA MT. Disponible en <http://www.ute.com.uy/Empresa/lineas/distribucion/normalizacion/docs/NMA01192.pdf> y obtenido www.ute.com. 5 de julio del 2015.

OSPINA. Hector. Control predictivo para la detección de alarmas en pruebas de aislamiento de Pértigas utilizadas en redes de distribución. Revista Energía y Computación. Vol. 17 no. 1. 2009. Obtenido el 20 de abril de 2016 de [http://bibliotecadigital.univalle.edu.co/bitstream/10893/1486/1/Control%20Predictivo%20Para%20la%20Deteccion%20de%20Alarmas%20en%20Pruebas%20de%20Aislamiento%20de%20Pertigas%20Utilizadas%20en%20Redes%20de%20Distri](http://bibliotecadigital.univalle.edu.co/bitstream/10893/1486/1/Control%20Predictivo%20Para%20la%20Deteccion%20de%20Alarmas%20en%20Pruebas%20de%20Aislamiento%20de%20Pertigas%20Utilizadas%20en%20Redes%20de%20Distribucion.pdf)
[bucion.pdf](http://bibliotecadigital.univalle.edu.co/bitstream/10893/1486/1/Control%20Predictivo%20Para%20la%20Deteccion%20de%20Alarmas%20en%20Pruebas%20de%20Aislamiento%20de%20Pertigas%20Utilizadas%20en%20Redes%20de%20Distri).

PERDOMO BUSINESS GROUP. Consultado en: <http://pbq.com.co/>. Obtenido el 9 de abril de 2016.

PÉREZ. Eduardo y MIQUÉLEZ. Vicente. Diseño y construcción de una bobina. Escuela Técnica Superior de Ingenieros Industriales y de Telecomunicación. Pamplona. 19 de febrero 2010. p 8.

PRADO. J. Constructor eléctrico. <https://constructorelectrico.com/pruebas-electricas-y-dielectricas/> consultado el 18 de febrero de 2016.

REGLAMENTACIÓN EN URUGUAY URSEA POR MEDIO DEL MINISTERIO DEL INTERIOR. Disponible en http://ewh.ieee.org/sb/uruguay/udelar/uruguayenergetico/Vignolo-Marco_Regulatorio_Uruguay_20090820.pdf consultado el 20 de Noviembre del 2015.

SEGURINSA ESP. WORLDLIGHT DO BRASIL ELECTRO Ltda - Noel SAGRISTA - Coordinador America del Sur y Brasil. Consultado en <http://www.sf-electric.com/nos-produits>. Obtenido el 9 de Abril de 2016.

SERVIGUANTES. Medellín – Colombia. Consultado en: <http://www.serviguantes.com/Productos.aspx?ParteDelCuerpoAProtegerName=Manos+y+Brazos&MaterialName=Yin>. Obtenido el 9 de abril de 2016.

SOFAMEL S.L. es una empresa española dedicada a la fabricación de material eléctrico de conexión. así como material de seguridad y protección eléctrica. <http://sofamel.com/es/product-catalogue>. 9 de abril de 2016.

S.P. LONDOÑO. En: Diseño de un prototipo de bobina de tesla con tensión de operación pico de 280kV. Universidad Francisco José Caldas. Bogotá - Colombia.

SUPERINTENDENCIA DE RIESGOS DEL TRABAJO 592/04 EN ARGENTINA. Disponible en <http://www.estrucplan.com.ar/Legislacion/Nacion/Resoluciones/Superintendencia>. Consultado el 18 de Noviembre del 2015

UNE-EN 60903:2005 Trabajos en tensión. Guantes de material aislante. Disponible en http://www.insht.es/InshtWeb/Contenidos/Documentacion/TextosOnline/Divulgacion_Normativa/Ficheros/FDN_20.pdf. 05 de Enero del 2016

ANEXOS

ANEXO A: PLANO GENERAL DE TABLERO DE CONTROL.

ANEXO B: ANÁLISIS MATEMÁTICO.

ANEXO C: MANUAL DE PROCEDIMIENTO PRUEBA DE VOLTAJE SOSTENIDO A GUANTES Y PÉRTIGAS DIELECTRICAS

ANEXO D: PROGRAMA PARA SISTEMA DE GESTIÓN DE RESULTADOS.
(Versión digital incluida en CD)

ANEXO E: PLAN DE MANTENIMIENTO DEL EQUIPAMIENTO.

ANEXO F: LISTA DE PRECIOS DE OBJETOS ADQUIRIDOS PARA PROYECTO DE INVESTIGACIÓN.